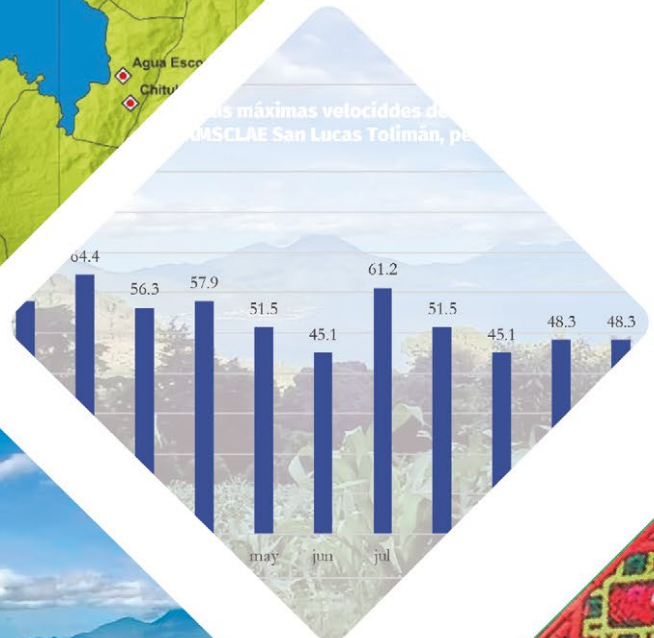
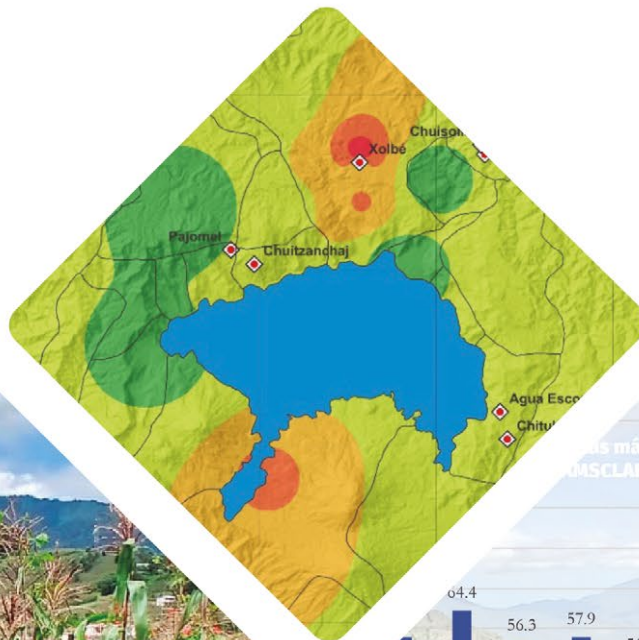


Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Xolbé, aldea El Tablón, municipio de Sololá, departamento de Sololá

Proyecto:
Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador







Cooperación
Española



Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático

Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Xolbé, aldea El Tablón, municipio de Sololá, departamento de Sololá

Proyecto:
Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador

GUATEMALA, 2025

Autores:

Dr. Pablo Yax López

Ing. Agr. Kevin Manolo Noriega Elías

Ing. Agr. Francisco Espinoza Marroquín

Diseño y diagramación

Licda. Yohana Ramíez

Cita Bibliográfica

Yax López, P., Noriega Elías, K. M., & Espinoza Marroquín, F. (2025). Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Xolbé aldea El Tablón, municipio de Sololá, departamento de Sololá. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. Guatemala.

Esta publicación se generó en el marco del proyecto: Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador

Esta publicación cuenta con la colaboración de la Cooperación Española a través de la Agencia Española de Cooperación (AECID). El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. y no refleja, necesariamente, la postura de la AECID»



ISBN: 978-99939-57-09-6

ICC 2025

Todos los derechos reservados

Índice

I. Introducción.....	11
II. Objetivos.....	13
III. Área de estudio.....	14
IV. Métodos y procedimientos utilizados	16
4.1. Delimitación o alcance territorial.....	17
4.2. Análisis de vulnerabilidad climática con enfoque participativo.....	17
4.3. Análisis del comportamiento histórico de variables meteorológicas y climáticas	18
V. Resultados.....	20
5.1 Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de Sololá.....	20
5.1.1 Comportamiento climático de la zona norte de la cuenca de lago de Atitlán	20
5.1.1.1 Temperatura	20
5.1.1.2. Lluvias	22
5.1.1.3 Inicio de la estación lluviosa	25
5.1.1.4 Lluvias fuertes.....	25
5.1.1.5 Sequía/ canícula.....	29
5.1.1.6 Vientos	31

5.1.2. Cambios en el clima	34
5.1.2.1 Cambios en la lluvia	35
5.1.2.2 Cambios en la temperatura	36
5.1.2.3 Escenarios climáticos para el departamento de Sololá.....	37
5.2. Vulnerabilidad climática en el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.	41
5.2.1. Medios de vida del caserío Xolbé	41
5.2.2. Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en el caserío de Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.	42
5.2.3. Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad.....	44
5.2.4. Análisis de vulnerabilidad climática.....	45
VI. Discusión de resultados.....	48
6.1. Sequía	48
6.2. Vientos:	49
6.3. Temperatura:	49
VII. Conclusiones	50
VIII. Referencias	51

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del municipio de Sololá, departamento de Sololá.	14
Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.....	16
Figura 3. Frecuencia de ocurrencia de temperatura absoluta máxima registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1994-2021 (FDP= Densidad de la Probabilidad; FFA= Probabilidad acumulada).....	20
Figura 4. Temperaturas máximas absolutas mensuales registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2023.....	21
Figura 5. Comportamiento de la temperatura mínima absoluta mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2023.	21
Figura 6. Correlación lineal de la lluvia acumulada anual entre las estaciones INSIVUMEH Labor Ovalle, Santiago Atitlán y Santa María El Tablón, periodo de referencia: 1991-2023.....	22
Figura 7. Lluvia acumulada anual registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María El Tablón, Sololá; periodo 1991-2023.	23
Figura 8. Anomalía de lluvia expresada en porcentaje del promedio anual del periodo 1990-2023, registrado en las estaciones de INSIVUMEH Santa María El Tablón y Santiago Atitlán	24
Figura 9. Acumulados mensuales de lluvia registrada en la estación INSIVUMEH Santa María, El Tablón.	25
Figura 10. Comportamiento de la lluvia acumulada mensual máxima, mínima, promedio y lluvia en estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón.	26
Figura 11. Cantidad de eventos que igualaron o superaron la lluvia acumulada mensual con probabilidad de 90% registrada en la estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2020.....	27
Figura 12. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.....	28
Figura 13. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá.....	29

Figura 14. Numero de eventos mensuales con lluvia menor al valor de probabilidad del 25 y 10% (seco y muy seco) y mayores al 75% y 90% (lluvioso y muy lluvioso), registrados en la estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2020.	30
Figura 15. Anomalía de lluvia bimestral mayo-junio, junio-julio y julio-agosto, estación Santa María, El Tablón.	31
Figura 16. Frecuencia acumulada de velocidad máximas del viento registrada en la estación meteorológica El Tablón AMSCLAE.	32
Figura 17. Dirección de los vientos con máxima velocidad registrada para el territorio de Xolbé, Sololá.	33
Figura 18. Mapa de velocidad y dirección de los vientos con máxima velocidad registrados en el municipio de Sololá, en el período 2021-2023.	33
Figura 19. Mapa de clasificación del viento en la escala Beaufort que afectó al municipio de Sololá, en el periodo 2021-2023.	34
Figura 20. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.....	35
Figura 21. Tendencia de precipitación extrema anual en Guatemala	36
Figura 22. Temperatura promedio registrada en estación meteorológica INSIVUMEH Santa María El Tablón, Sololá, período de 1994-2023.	37
Figura 23 Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio Sololá.	38
Figura 24. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en el territorio del municipio de Sololá, departamento de Sololá, Guatemala.....	39
Figura 25. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) en comparación de los años 2000-2050 en la precipitación (lluvia) acumulada anual en el territorio del municipio Sololá, departamento de Sololá, Guatemala.	40
Figura 26. Mapa de impactos históricos de amenazas climáticas/meteorológicas en el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.....	45
Figura 27 Ponderación acumulada de impactos sobre los medios de vida del caserío Xolbé, Sololá.	48

Índice de cuadros

Cuadro 1. Ecuaciones de correlación y coeficientes de determinación de la lluvia anual de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y Labor Ovalle.....	23
Cuadro 2 Lluvia máxima acumulada en un día durante los fenómenos meteorológicos ocurridos en el periodo 1991-2023 en Sololá.....	28
Cuadro 3 Medios de vida más importantes del caserío Xolbé.....	42
Cuadro 4. Calendario estacional para el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.....	43
Cuadro 5. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para el caserío Xolbé.....	46

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno global de mucha relevancia a nivel mundial, especialmente, por sus múltiples efectos negativos en los diferentes sistemas socio-ecológicos en el planeta Tierra. Actualmente, se están impulsando acciones para contrarrestar sus múltiples efectos negativos en los diferentes ecosistemas, ciudades, poblaciones rurales y los sistemas productivos agrícolas (cultivos).

De acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, (2014), el cambio climático es una variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos.

El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos (emisiones de gases de efecto invernadero) persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo como afirma IPCC (2014). En los últimos decenios, los cambios en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Las evidencias de los impactos del cambio climático son más sólida y completa para los sistemas naturales.

El presente documento sintetiza los principales hallazgos de cambios en el comportamiento de variables meteorológicas para el territorio del departamento de Sololá y con influencia sobre el caserío Xolbé del municipio de Sololá. Entre

los principales hallazgos se pueden mencionar: la tendencia de incremento de la lluvia desde el año 1979. Los años 2010 y 2005 mostraron los valores más altos de acumulados de lluvia anual, asociados con los eventos ciclónicos Agatha (2010) y Stan (2005). Por el otro lado los años con los menores valores de precipitación se asocian con el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS), destacándose los años 2002, 2016 y 2020. Sin embargo, el acumulado de mayo de 2024 destaca con el menor acumulado de lluvia (17.6 mm) de todos los registros históricos de la zona.

A través de herramientas participativas se identificaron las zonas expuestas a las siguientes amenazas: vientos fuertes, fuertes lluvias y heladas. En cuanto a vulnerabilidad climática de los principales medios de vida del caserío Xolbé, Sololá, resalta la actividad de producción de aves de criollas, la mano de obra no calificada (jornalero) y la agricultura, entre otras actividades.

La agricultura es la actividad más vulnerable ante las amenazas descritas como fuertes vientos, fuertes lluvias, sequía y aumento de la temperatura. La percepción comunitaria sobre el incremento de temperatura concuerda con los registros históricos de la estación Santa María El Tablón, con una tendencia clara de incremento de la temperatura a partir del año 2009.

El conocimiento generado a través de este informe se convierte en una herramienta para la identificación de amenazas puntuales. Estos hallazgos deben considerarse en el diseño de estrategias de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático, ya que en ambos pueden impactar negativamente los sistemas agroalimentarios, especialmente, aquellos más frágiles dentro del contexto del departamento de Sololá.



II. OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar la vulnerabilidad de los principales medios de vida de la población del caserío Xolbé, aldea Santa María El Tablón, Sololá ante la variabilidad y el cambio climático.

Objetivos específicos:

1. Definir y analizar el comportamiento de las principales variables climáticas/meteorológicas para el periodo 1994 - 2024.
2. Determinar las amenazas climáticas de mayor importancia para la población del territorio y sus principales medios de vida.
3. Establecer el grado de vulnerabilidad climática de los medios de vida basado en percepción comunitaria.

III. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Sololá es la cabecera del departamento del mismo nombre. Es uno de los diecinueve municipios que conforman el departamento de Sololá. (SEGEPLAN, 2022). Se localiza a 140 kilómetros al occidente de la ciudad de Guatemala con la que se comunica por medio de la carretera CA-1 Ruta Interamericana, la cual se encuentra pavimentada y es transitable todo el año. (SEGEPLAN, 2022).

Sus colindancias son: al norte con el municipio de Totonicapán del departamento de Totonicapán y el municipio de Chichicastenango del departamento del Quiché; al este con los municipios de Concepción y Panajachel del departamento de Sololá; al sur con el lago de Atitlán; y al oeste con los municipios de Santa Cruz La Laguna, San José Chacayá y Nahualá del departamento de Sololá. (SEGEPLAN, 2022).

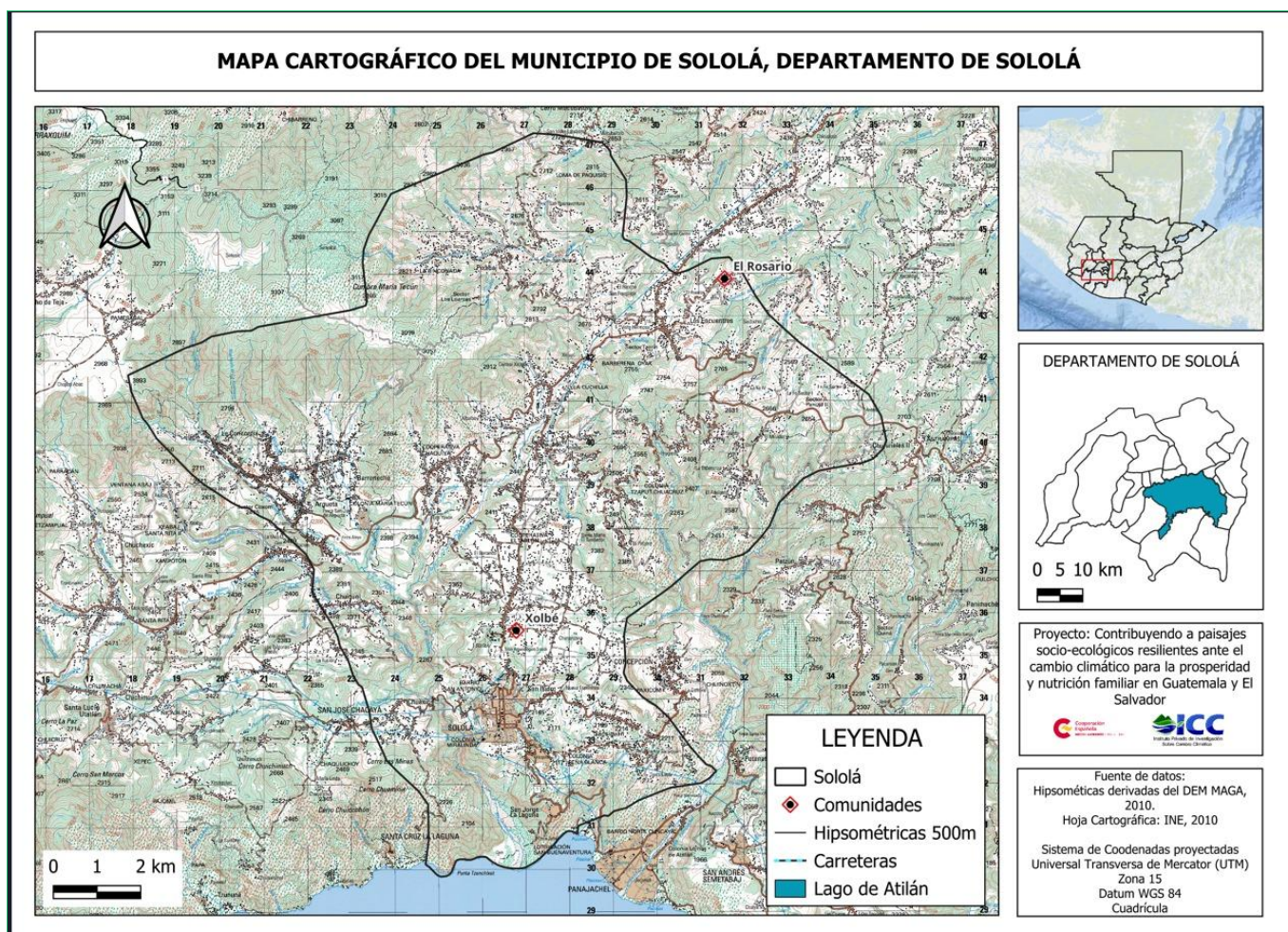


Figura 1. Ubicación del municipio de Sololá, departamento de Sololá.

El nombre de Sololá se deriva del vocablo 'Tzolojha' o 'Tz'olojya', que en Kaqchikel, Kiche' y Tz'utuhil significa agua de sauco, refiriéndose al agua que se obtiene de la planta de sauco, debido a que en la localidad abundaba este arbusto, el cual crecía en los alrededores de manantiales y ríos que son parte de la cuenca del lago Atitlán, aunque también se tiene la versión de que dicho término proviene de las expresiones "Tzol" (volver o retornar), "ol" (partícula o continuación) y "ya" (agua); lo que significaría retornar o volver al agua. (SEGEPLAN, 2022)

El municipio de Sololá se encuentra ubicado dentro de la cuenca del lago de Atitlán, por lo que es parte del área protegida de la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA). La parte norte del municipio en cambio constituye parte de la cuenca del Río Motagua. Sus coordenadas son: Latitud 14° 46' 23.21'' y Longitud 91° 10' 58.98''. Su altitud promedio es de 2,123 metros sobre el nivel del mar con un clima que es eminentemente frío en la parte norte y central y en la parte baja, a orillas del Lago de Atitlán es de clima templado. Se manifiestan dos estaciones claramente definidas, época lluviosa y no lluviosa (SEGEPLAN, 2022). Su extensión territorial es de 130.55 kilómetros cuadrados, lo que representa un 8.86% del total del territorio del departamento de Sololá. Su fisiografía es de las denominadas tierras altas volcánicas, que se caracteriza por la diversidad de accidentes geográficos (SEGEPLAN, 2022).

Los suelos del municipio mayoritariamente son del orden Andisol e Inceptisol. En menor proporción se encuentran del orden Entisoles y Molisoles. Los suelos andisoles presentan baja densidad aparente y baja capacidad de retención de humedad y los suelos inceptisoles son suelos minerales de baja evolución pero con horizontes bien diferenciado.

En cuanto al origen de los suelos, se encuentran de tipo piroclástico no consolidados (cenizas y pómez), piroclástico consolidados (tobas), clásticos gravigénicos, y clástico hidro-volcánicos (MAGA, 2013).

Según la clasificación Thornthwaite citado en (MAGA, 2013) el clima de la región corresponde al tipo "semifrío húmedo" (Código S), que se caracteriza por presentar rangos de temperaturas medias anuales entre 14.3 y 17.0 °C y un rango de precipitaciones de 1,001 a 2,000 mm anuales y un rango de altitudes de 1,800 a 2,300 msnm. Los polígonos de suelos de la unidad presentan los siguientes valores: temperatura media anual de 15.2 °C, precipitación anual media de 1,247 mm y una altitud media de 2,152 msnm.

El municipio se ubica dentro de la Zonas de Vida (Sistema Holdridge, De La Cruz, 1983) denominada bosque húmedo +montano bajo subtropical (bh-MB), cuyas especies indicadoras son encino (*Quercus* spp.), pino triste (*Pinus pseudostrobus*), pino de ocote (*Pinus montezumae*), ilamo (*Alnus jorullensis*), capulín (*Prunus capulli*), madrón de tierra fría (*Arbutus xalapensis*) y otros.

IV. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS

Para este estudio se consideró una combinación de métodos estadísticos y técnicas participativas para recopilar y/o analizar la información meteorológica/climática, áreas de impacto de fenómenos climáticos pasados y percepción de riesgo entre otros factores.

El análisis de vulnerabilidad fue elaborado considerando los elementos que se detallan en la figura 2. Así mismo, se emplean los conceptos y definiciones del IPCC en su sexto informe (2022). Con base a dicho informe del IPCC, la amenaza es definida como el acaecimiento potencial de un fenómeno o tendencia física que pueda causar

pérdidas de vida, lesiones u otros efectos negativos. La exposición se refiere a la presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. La vulnerabilidad es conceptualizada como la propensión o predisposición que un sistema puede verse adversamente afectada, el riesgo es definido como la potencial consecuencia adversa para sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con tales sistemas.

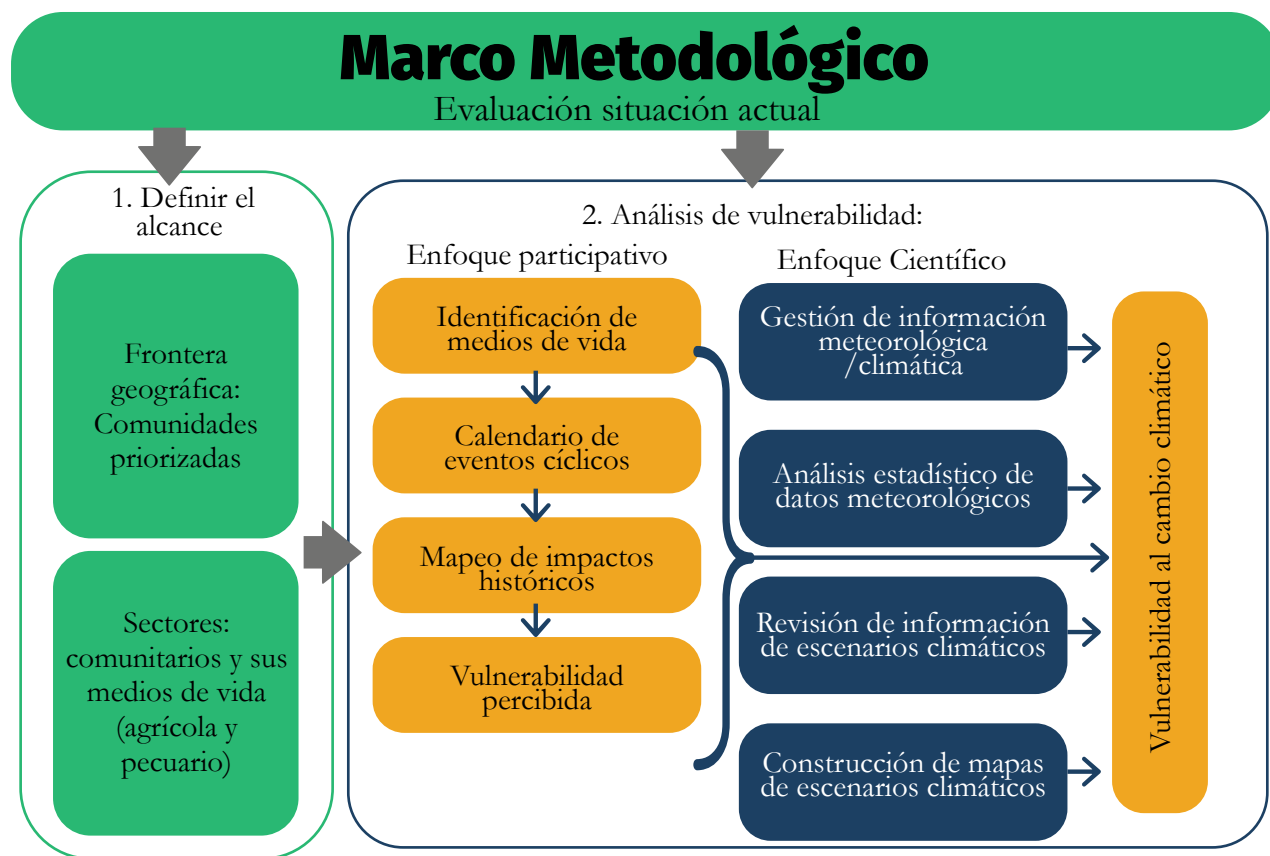


Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.

Uno de los primeros pasos fue la definición de la escala espacial y se basó en la delimitación de la comunidad (caserío) con función de la información proporcionada por actores locales. Entendiendo a una comunidad como un grupo de personas que se encuentran dentro de un territorio particular y comparten elementos culturales, económicos, sociales y ambientales en común. Así mismo, se priorizaron los principales medios de vida de la cual dependen las familias y población en general.

La segunda fase se basó en un enfoque participativo para sistematizar la percepción comunitaria en cuanto a la vulnerabilidad y amenazas climáticas que ha impactado históricamente en el territorio de estudio. Para ello se organizaron talleres focales y empleando distintas herramientas participativas para la evaluación de la vulnerabilidad climática a escala comunitaria. La tercera fase fue desarrollada de manera paralela a la anterior, para analizar el comportamiento del clima basándose en información meteorológica/ climática disponible para el departamento de Sololá y el municipio de Sololá.

4.1 Delimitación o alcance territorial

La comunidad fue seleccionada en función de listado definido en el proyecto: Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes ante el cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador, priorizando comunidades con niveles altos de prevalencia de desnutrición en la población infantil. La delimitación espacial se basó en el conocimiento de los líderes comunitarios, quienes reconocen los límites territoriales de su territorio con las circunvecinas.

4.2. Análisis de vulnerabilidad climática con enfoque participativo

- 4.2.1. El primer paso, consistió en la identificación de líderes comunitarios, agricultores, y la convocatoria de representantes del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA- y del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS- del municipio y otros actores sociales clave de ambos géneros.
- 4.2.2. Por medio de un taller focal se identificaron y se discutieron los diferentes medios de vida que emplean los hogares y su vulnerabilidad a través de la identificación de amenazas de índole climático y geofísicas detonadas por eventos hidrometeorológicos. Para gestionar el conocimiento sobre los medios de vida y las amenazas climáticas, se emplearon varias herramientas para la recopilación de información (matrices en papelógrafos), entre los cuales se mencionan: el calendario estacional, matriz y priorización de medios de vida, matrices de vulnerabilidad y mapeo de exposición histórica a amenazas climáticas.
- 4.2.3. Para la identificación de medios de vida de mayor relevancia dentro de la comunidad, se contó con la valoración de los participantes de manera colectiva sobre las principales actividades o medios de vida que emplean.
- 4.2.4. En cuanto a eventos o actividades agrícolas cíclicas de relevancia, se utilizó la herramienta calendario estacional, bajo la escala de meses del año natural para la identificación de los períodos de ocurrencia de los fenómenos o el inicio y finalización de actividades relevantes.

- 4.2.5. Para el mapeo de exposición histórica de amenazas climáticas dentro de la comunidad, se construyó un croquis de la localidad, que permitió la identificación de los principales elementos de la comunidad como: áreas de vivienda, áreas de cultivos, escuela e iglesias. Así mismo, las áreas que están expuestas a amenazas o que fueron impactadas por fenómenos climáticos en el pasado.
- 4.2.6. Para la estimación de la vulnerabilidad de los principales medios de vida se empleó la matriz (cuadro) de vulnerabilidad de medios de vida y la de valoración escala de Likert de (0 a 3), donde: 0 = nulo, 1 = bajo, 2 = medio y 3 = alto. La herramienta brindó la oportunidad de la recolección de información de manera personalizada (individual) al recolectar la percepción de cada participante.
- 4.2.7. Toda la información obtenida a través de las distintas herramientas empleadas durante el taller fue compilada y organizada de manera digital utilizando hojas de cálculo de Excel entre otras herramientas.
- 4.2.8. En función de los insumos o información generada en las subsecciones anteriores, se discutió el efecto de las amenazas climáticas sobre los medios de vida y sus impactos en la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares de la comunidad de estudio.

4.3. Análisis del comportamiento histórico de variables meteorológicas y climáticas.

- 4.3.1. En función de los insumos o información generada en las subsecciones anteriores, se discutió el efecto de las amenazas climáticas sobre los medios de vida y sus impactos en la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares de la comunidad de estudio.
- 4.3.2. Para el análisis de los datos climáticos y/o meteorológicos se requirió de un proceso de gestión/obtención de los registros de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) ubicadas en el departamento de Sololá como: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y El Capitán. Los datos correspondientes se registran a partir de 1994 hasta el año 2023. Así mismo, se gestionó información meteorológica de las estaciones que administra AMSCLAE, ANACAFE y la organización Vivamos Mejor, para el período 2016 a 2023.
- 4.3.3. Posteriormente se procedió a la revisión de datos faltantes y errores humanos en la transcripción en las bases de datos climáticos y meteorológicos. Así mismo, se verificó la continuidad y validez de los datos para luego analizarlos.
- 4.3.4. Se efectuó un análisis de temperatura a los datos de registros de máximos y mínimos absolutos y a los datos de promedio mensual. El análisis consistió en el uso de estadística descriptiva del conjunto de datos meteorológicos/climáticos para determinar las medidas de tendencia central, de dispersión y de posición. Además, se

efectuó un análisis de datos agrupados y de correlación lineal. Se efectuaron cálculos de probabilidades de ocurrencia de las distintas magnitudes para determinar la temperatura con probabilidad de ocurrencia de 10, 25, 50, 75 y 90%. El análisis de tendencia de temperatura se realizó mediante el análisis de promedio anual de temperatura, máximos y mínimos absolutos y su respectiva media móvil con periodo de 5 años.

4.3.5. Para el análisis de lluvia, se calculó las variables de estadística descriptiva para los registros mensuales y acumulados anuales, análisis de anomalía de lluvia anual y mensual, además, se determinó la magnitud de la lluvia mensual con probabilidad de ocurrencia de 10, 25, 50, 75 y 90%, con distribución Gamma generalizada extendida, ya que esta función no admite valores de cero, solo se realizó para la estación lluviosa, mayo – octubre. El análisis de tendencia de lluvia se realizó con correlación lineal y análisis de anomalías anuales. Se realizó análisis de correlación entre la anomalía de lluvia anual registrada en las estaciones INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María, El Tablón con la anomalía de temperatura del Océano Pacífico en la región El Niño 3.4.

4.3.6. Para realizar el análisis del viento y lluvia diaria se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas de la AMSCLAE con periodo de registro desde 2021-2023. Además, se complementaron con datos de las estaciones meteorológicas de Santo Tomás Pachuj con registros desde 2019 y San Jerónimo Miramar con registros desde 2013, ambas de la Asociación Nacional de Café -ANACAFÉ-.

4.3.7. El modelamiento de la distribución espacial de las variables meteorológicas temperatura, lluvia, viento, fue con interpolación Inverso de la distancia de los valores promedio, máximos, mínimos y anomalías de las variables asociadas a la temperatura, lluvia y viento, para el análisis espacial y cartografía de los datos se empleó el software QGIS versión 3.20.3. El análisis estadístico de los datos se realizó con el software Microsoft Excel y el software InfoStat versión 2020.

4.3.8. En cuanto a los escenarios climáticos, se empleó el producto generado de la Universidad de Nebraska para Guatemala a una resolución espacial de 4 Km cuadrados. A partir de dichos insumos se elaboraron los mapas de escenarios climáticos en cuanto a temperatura máxima y promedio. Además, se proyectó la diferencia de lluvia que podría generarse para los meses de mayo, junio y julio.

V. Resultados

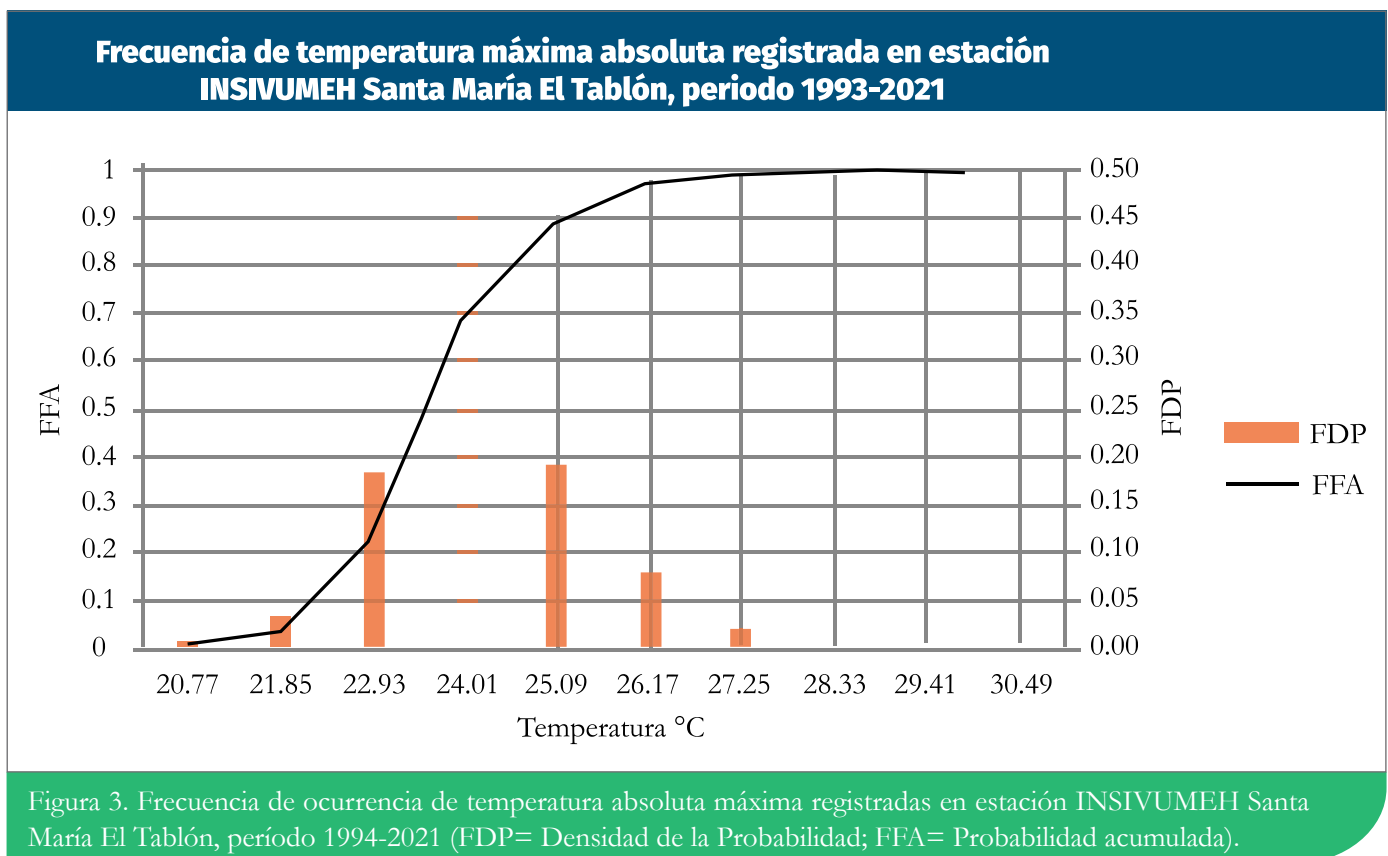
5.1. Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de Sololá

5.1.1 Comportamiento climático de la zona norte de la cuenca de lago de Atitlán

La información climática para el departamento de Sololá empleado para el presente análisis se basa en los registros de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María El Tablón desde el año 1994.

5.1.1.1 Temperatura

La temperatura máxima absoluta mensual con mayor frecuencia (Figura 3), se encuentra en el rango de 22.94 a 24.0°C, con el 47.9% de los registros; mientras que un 19% de los registros de temperaturas se contabilizan entre 24.02°C y 25.09°C. Las temperaturas entre 25.1°C a 30.49°C son temperaturas extremas para el período analizado, ya que éstas superan la probabilidad empírica del 90% de los registros de temperatura.



Comportamiento de la temperatura máxima mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023

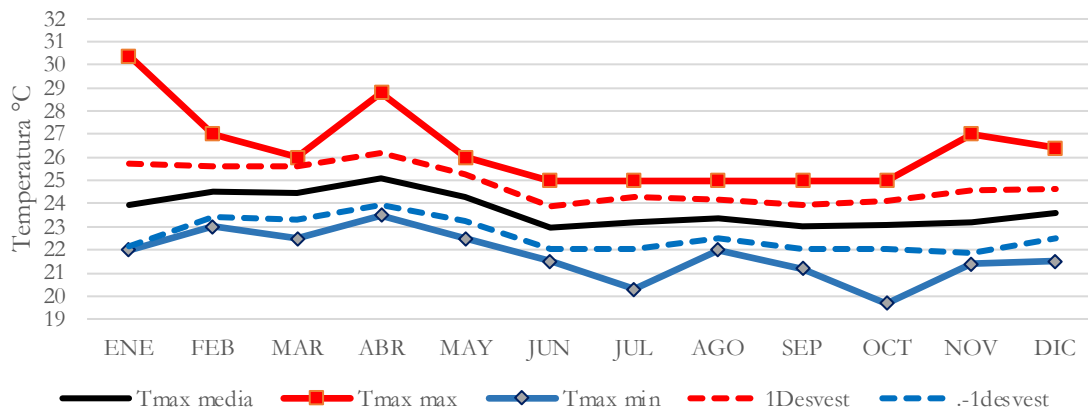


Figura 4. Temperaturas máximas absolutas mensuales registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.

El comportamiento de la temperatura máxima mensual tiende a incrementarse desde el mes de noviembre (Figura 4) hasta alcanzar los registros más altos de temperatura en los meses de enero y abril, y descendiendo en mayo y junio. A partir de junio hasta octubre se registran los valores más bajos de temperaturas máximas durante el año. Los

valores de temperaturas máximas van desde los 19.7°C hasta los 30.5°C. La temperatura máxima representa la temperatura diurna, por lo tanto, los días más frescos se presentan en los meses de junio a octubre, mientras que, los días más calurosos se registran en el mes de noviembre a mayo (Figura 4).

Comportamiento de la temperatura mínima mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023

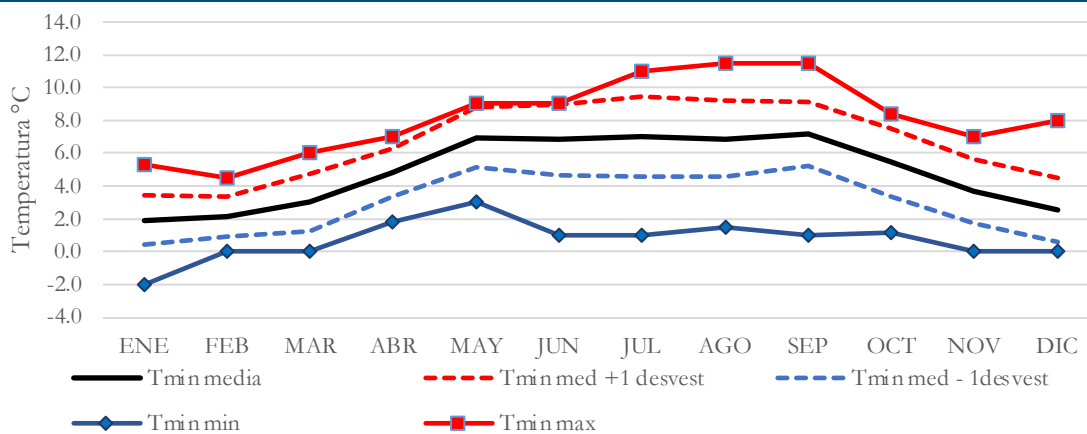


Figura 5. Comportamiento de la temperatura mínima absoluta mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.

La dinámica de la temperatura mínima durante el año es contraria al comportamiento de la temperatura máxima (Figura 5), observándose una reducción en los valores de la temperatura mínima a partir de noviembre hasta marzo y con incrementos a partir de abril. Los datos de temperaturas mínimas con valores más altos se registran desde mayo hasta septiembre. Las temperaturas mínimas representan la temperatura nocturna/madrugada, por lo tanto, las noches más frías se registran desde de noviembre hasta marzo y las noches más calurosas se registran desde abril hasta octubre. El valor promedio de los registros de temperaturas mínimas absolutas de la estación Santa María El Tablón, para el periodo 1993-2020, fue de 4.93°C.

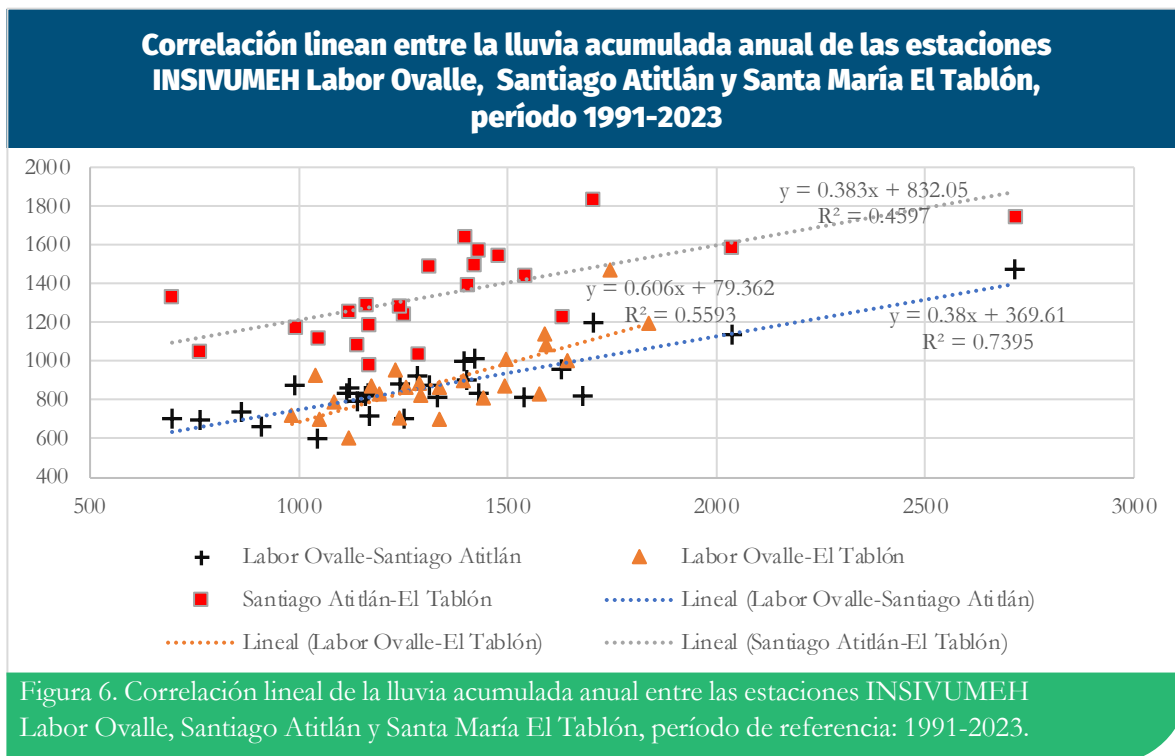
Las temperaturas comunes o con mayor frecuencia son las que se encuentran entre las probabilidades de ocurrencia del 25 y 75%, siendo de 3.07°C y 6.79°C, respectivamente. Las temperaturas mínimas extremas son inferiores a 1.4°C y su ocurrencia está por debajo del 10% de probabilidad, mientras que

la temperatura que excede el 90% probabilidad de ocurrencia, son aquellas superiores a 8.47°C. Las noches/madrugadas frías para la zona de estudio son aquellas donde la temperatura se encuentra entre 1.4°C y 3.07°C.

5.1.1.2 Lluvias

Como se mencionó anteriormente, el análisis de la lluvia (precipitación) en el departamento de Sololá se efectuó utilizando datos de las estaciones de referencia Santa María, El Tablón y Santiago Atitlán. Además, se incluyó la estación de Labor Ovalle, ubicada en el departamento de Quetzaltenango.

El análisis mostró una correlación lineal positiva entre la lluvia registrada en las estaciones mencionadas, siendo más alta entre las estaciones Santiago Atitlán y Labor Ovalle (R2 0.74). La correlación entre las estaciones Santiago Atitlán y Santa María El Tablón fue moderada (R2 0.459), mientras que entre las estaciones Labor Ovalle y Santa María El Tablón, el coeficiente fue R2 0.559.



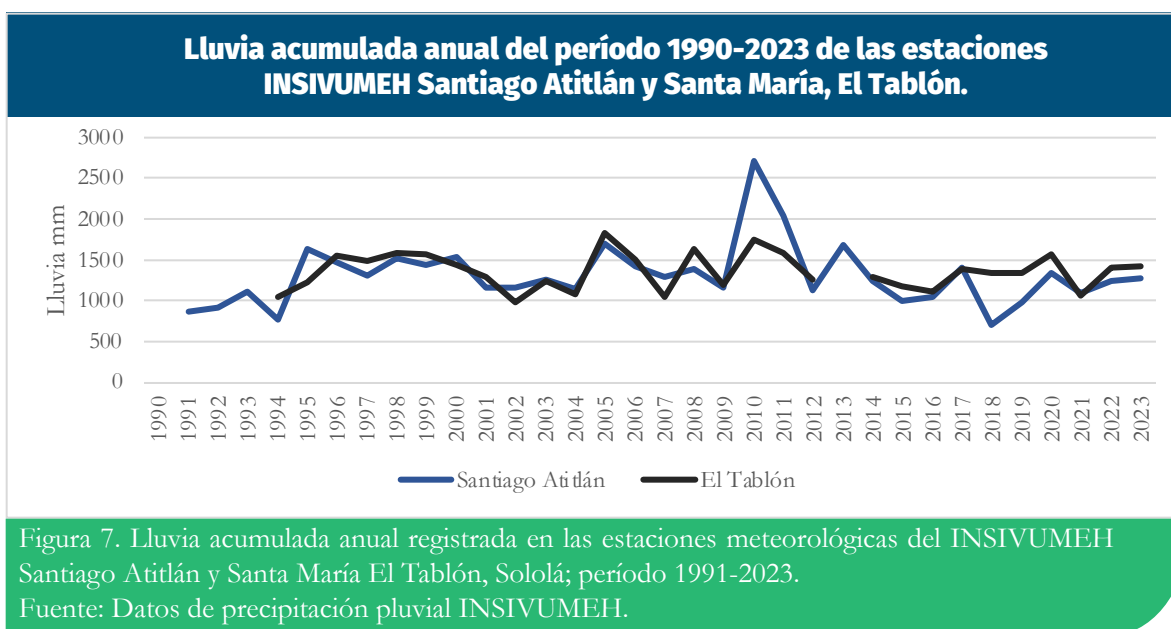
Cuadro 1. Ecuaciones de correlación y coeficientes de determinación de la lluvia anual de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y Labor Ovalle.

X	Y Labor Ovalle		Y El Tablón	
	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²
Santiago Atitlán	$y = 0.38x + 369.61$	0.74	$y = 0.383x + 832.05$	0.46
El Tablón	$y = 0.606x + 79.362$	0.559		

La relación entre la precipitación en la región del departamento de Sololá puede estar influenciada por el efecto climático continental. Se estimó el índice continental térmico y categoriza al clima de la zona de influencia de las tres estaciones como un clima Semicontinental. El índice continental termo pluviométrico propuesto por Del Valle, J. (1991), considera la diferencia pluviométrica entre la época lluviosa y la no lluviosa. Para los datos registrados por

las estaciones Santiago Atitlán y Labor Ovalle presentan un mayor índice continental que en el caso de Santa María El Tablón, con índices de 29.6, 16.4 y 6.9, respectivamente.

La lluvia acumulada anual registrada en el periodo 1993-2023 para la zona norte-este del departamento de Sololá (estación Santa María el Tablón) está comprendida entre 975 mm y 1837mm.



En el departamento de Sololá, la lluvia interanual varía en un 40 % con respecto al promedio anual del periodo 1990-2023, según datos de las estaciones del INSIVUMEH en Santiago Atitlán y Santa María, El Tablón. El año 2010, presentó el acumulado anual más extremo, superando en 107% el promedio anual en la estación Santiago Atitlán y el 28 % en la estación Santa María, El Tablón.

La anomalía de lluvia acumulada anual muestra cierta relación con la anomalía de temperatura del océano Pacífico en la región El Niño 3.4 (figura 8). Se observó que, cuando la anomalía

de temperatura en el océano Pacífico estuvo por debajo del promedio, la lluvia en el departamento de Sololá registró incremento. En contraste, un incremento en la temperatura oceánica se asoció con una reducción de las lluvias en la región. La correlación lineal de Pearson entre la anomalía de temperatura del océano Pacífico y la lluvia registrada en las estaciones Santiago Atitlán y Santa María fue de 0.55 y 0.52, respectivamente. Sin embargo, los coeficientes de determinación R2 fueron relativamente bajos (0.30 y 0.278), indicando una relación moderada entre ambas variables.

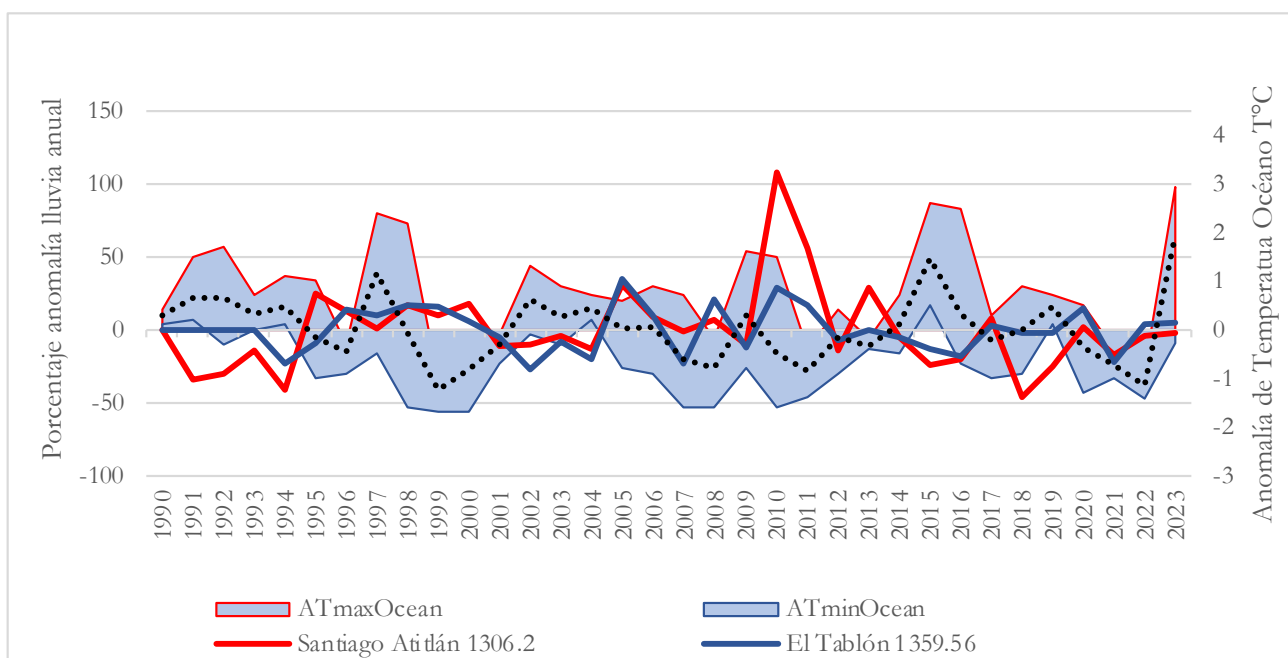


Figura 8. Anomalía de lluvia expresada en porcentaje del promedio anual del período 1990-2023, registrado en las estaciones de INSIVUMEH Santa María El Tablón y Santiago Atitlán
Fuente: Gráfica elaborada con datos de INSIVUMEH y NOAA (2024).

La reducción de la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico a menos del valor promedio alcanzando -0.5°C , se considera como una fase fría y se cataloga como La Niña, mientras que, sí la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico es superior al

promedio a más de 0.5°C se cataloga como El Niño y es la fase cálida del ENOS (CIIFEN, 2017). El efecto de cada fenómeno influye en la lluvia que se registra en el departamento de Sololá y el territorio guatemalteco en general, dado a esas teleconexiones climáticas existentes.

5.1.1.3. Inicio de la estación lluviosa

La estación lluviosa en el departamento de Sololá se establece en mayo, en el presente análisis se emplea el criterio de inicio de lluvia, cuando el acumulado de lluvia supera la evapotranspiración mensual (117 mm), que es la evapotranspiración promedio mensual acumulada, derivada de la evapotranspiración anual de 1,400 mm (INSIVUMEH, 2002). La ocurrencia de la lluvia en las cantidades que

supere la evapotranspiración potencial mensual se ha observado desde abril en la estación Santa María, El Tablón. Mientras que en la estación Santiago Atitlán, la lluvia ha superado la evapotranspiración mensual en el registro de 29 años con un evento en febrero, un evento en marzo y un evento en abril, estando asociados, posiblemente a los frentes fríos de la temporada invierno-primavera en el hemisferio norte.

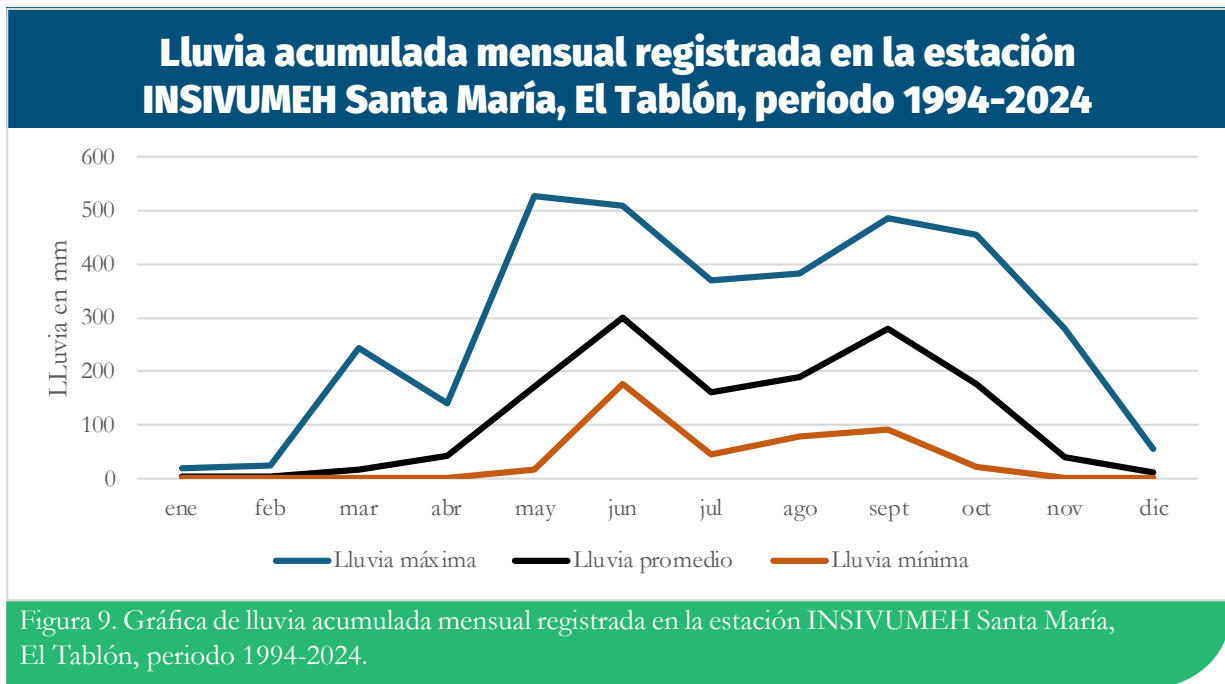


Figura 9. Gráfica de lluvia acumulada mensual registrada en la estación INSIVUMEH Santa María, El Tablón, periodo 1994-2024.

Los registros de lluvias en la estación del INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2024, muestran la ocurrencia de lluvias entre enero y abril, sin embargo, dentro este periodo en otros años no se registraron lluvias. A partir de abril, la lluvia se incrementa con un promedio de 41.5mm. Los valores de lluvia entre los percentiles 25 y 75, oscilan entre 18.1 mm y 64.9 mm, respectivamente. El máximo acumulado registrado en abril fue de 139.8mm, mientras que en algunos años la precipitación fue nula. Entre mayo - noviembre no se registraron meses sin lluvia en el periodo de

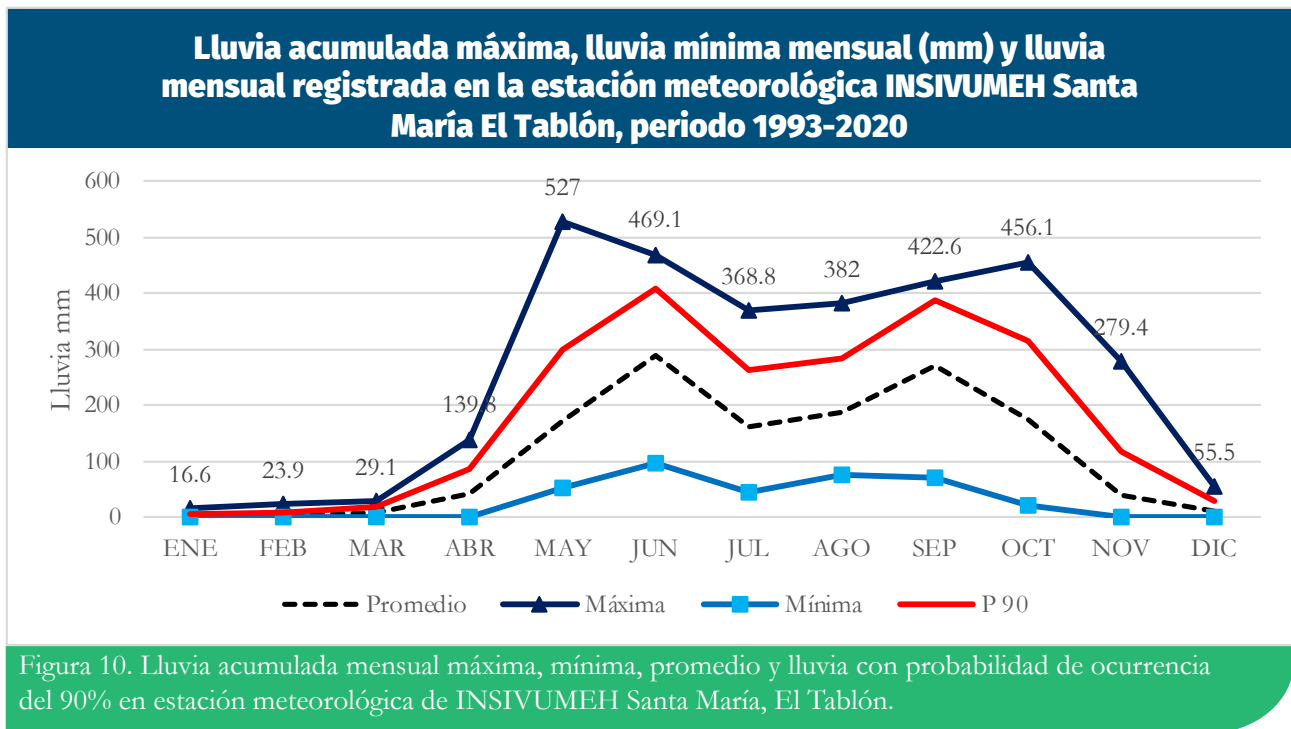
observación mencionado.

5.1.1.4. Lluvias fuertes

En los registros mensuales de la estación Santa María El Tablón, se tienen acumulados de lluvia que han excedido los valores con probabilidad del 90%, que son eventos extremos entre los registros máximos (Figura 10). Los eventos extremos de lluvia mensual fueron, en mayo de 2010 con 527 mm, junio de 2005 con 469.1 mm, julio de 2011 con 368 mm, agosto de 2010 con 382 mm, septiembre de 1997 con 422.6 mm, octubre de 2019 con 456.1 y noviembre de

1998 con 279.4 mm; dichos eventos de máximos acumulados mensuales se asocian a la influencia de eventos ciclónicos tropicales, tales como: el huracán Mitch (26 de octubre y 4 de noviembre de 1998), el huracán Stan (3 y 5 de octubre de 2005), la tormenta Agatha (mayo de 2010), la depresión tropical 12E (octubre de 2011). Se

han registrado otros acumulados mensuales de lluvia que han excedido el percentil 90, sin estar asociados a fenómenos ciclónicos tropicales, por ejemplo: un evento ocurrió en mayo, tres en junio, dos en julio, tres en agosto, dos en septiembre y tres en octubre.



La figura 11 presenta las lluvias con mayores acumulados mensuales registradas en la estación de Santa María El Tablón. Los acumulados mensuales de lluvia se consideran extremas, cuando superan el percentil 90 de los registros

de lluvia. Para la zona norte del departamento de Sololá se registró en mayo de 2010 un acumulado de 527 mm. Seguido de 456.1 mm de lluvia acumulada en octubre de 2005.

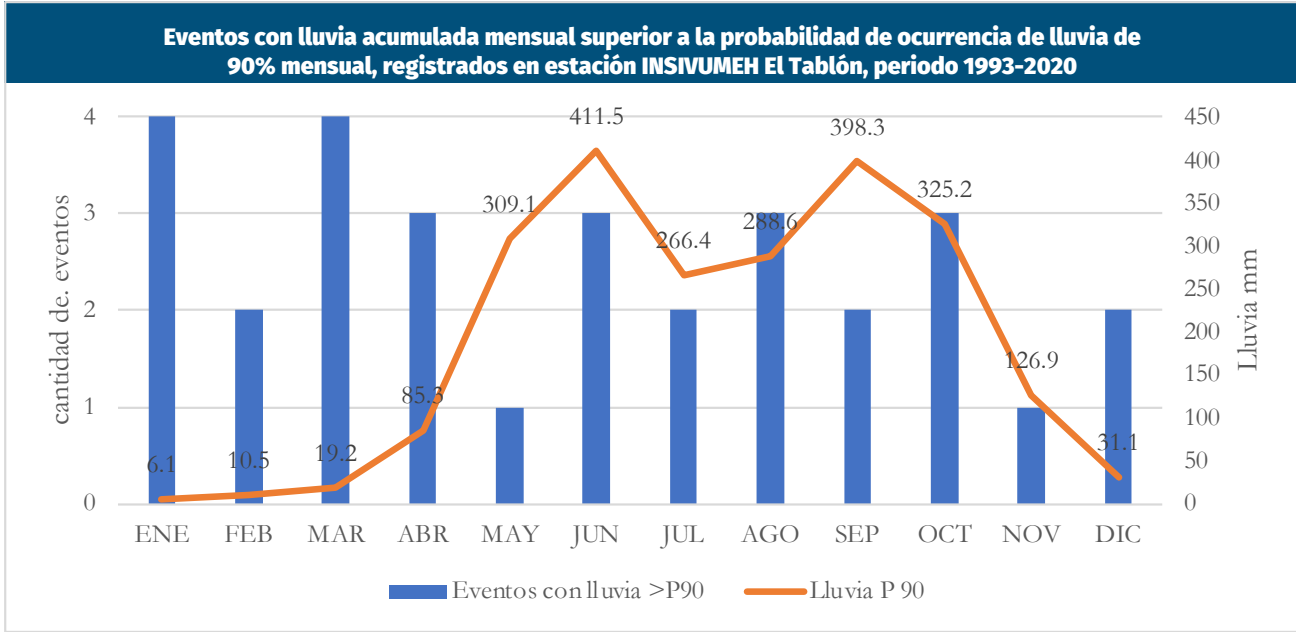


Figura 11. Cantidad de eventos que igualaron o superaron la lluvia acumulada mensual con probabilidad de 90% registrada en la estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2020.

Los máximos acumulados mensuales, como se indicó, se asocian a fenómenos meteorológicos de gran escala, como ciclones tropicales en sus diferentes categorías, fenómenos que han tenido impacto en el departamento de Sololá, como el huracán Stan (octubre de 2005), donde la lluvia acumulada de octubre fue de 386.5mm, que superó la probabilidad del 90% de lluvias de octubre en la estación Santa María, El Tablón. El máximo acumulado de lluvia diario para la zona norte del departamento de Sololá se registró para el 30 de mayo de 2010 con 215.8 mm debido a los efectos la tormenta Agatha. Otros eventos significativos incluyen el 03 de junio de 2014 con 180.5 mm y el 05 de octubre de 2005 166 mm por efectos de la tormenta Stan. En cuanto a datos más recientes (2020-2024), el mayor acumulado diario fue 109.5 mm, registrado el 16 de junio de 2024, sin influencia de evento ciclónico.

En la estación de Santiago Atitlán, la lluvia en octubre de 2005 fue de 496.1mm, superando la probabilidad del 90% (333 mm) para ese mes.

Los máximos de lluvia en un día que se han registrado en el departamento de Sololá, en su mayoría asociados con fenómenos ciclónicos, siendo éstos el huracán Mitch 1998, tormenta Stan 2005, tormenta Agatha 2010, depresión tropical 12 E 2011, tormenta tropical Boris 2014 y en el año 2015 en junio y septiembre influenciados por fenómenos locales.

Cuadro 2 Lluvia máxima acumulada en un día durante los fenómenos meteorológicos ocurridos en el periodo 1991-2023 en Sololá.

Estación	Huracán MITCH 1998	Tormenta tropical STAN 2005	Tormenta tropical AGATHA 2010	Depresión tropical 12E 2011	Tormenta Tropical BORIS 2014	2015	Lluvia Máxima en un día mm
EL Capitán	252	144.6	322	95	213	116	322
EL Tablón	146	166	215	180.5	181	105	215
Santiago Atitlán	95	230	145	75.9	76	74.8	230

La figura 12 muestra la distribución espacial de las lluvias máximas registrada en un día en el territorio del departamento de Sololá. Donde

resalta que el territorio de San Lucas Tolimán y San Antonio Palopó fueron afectados por acumulados superiores a los 279 mm/día.

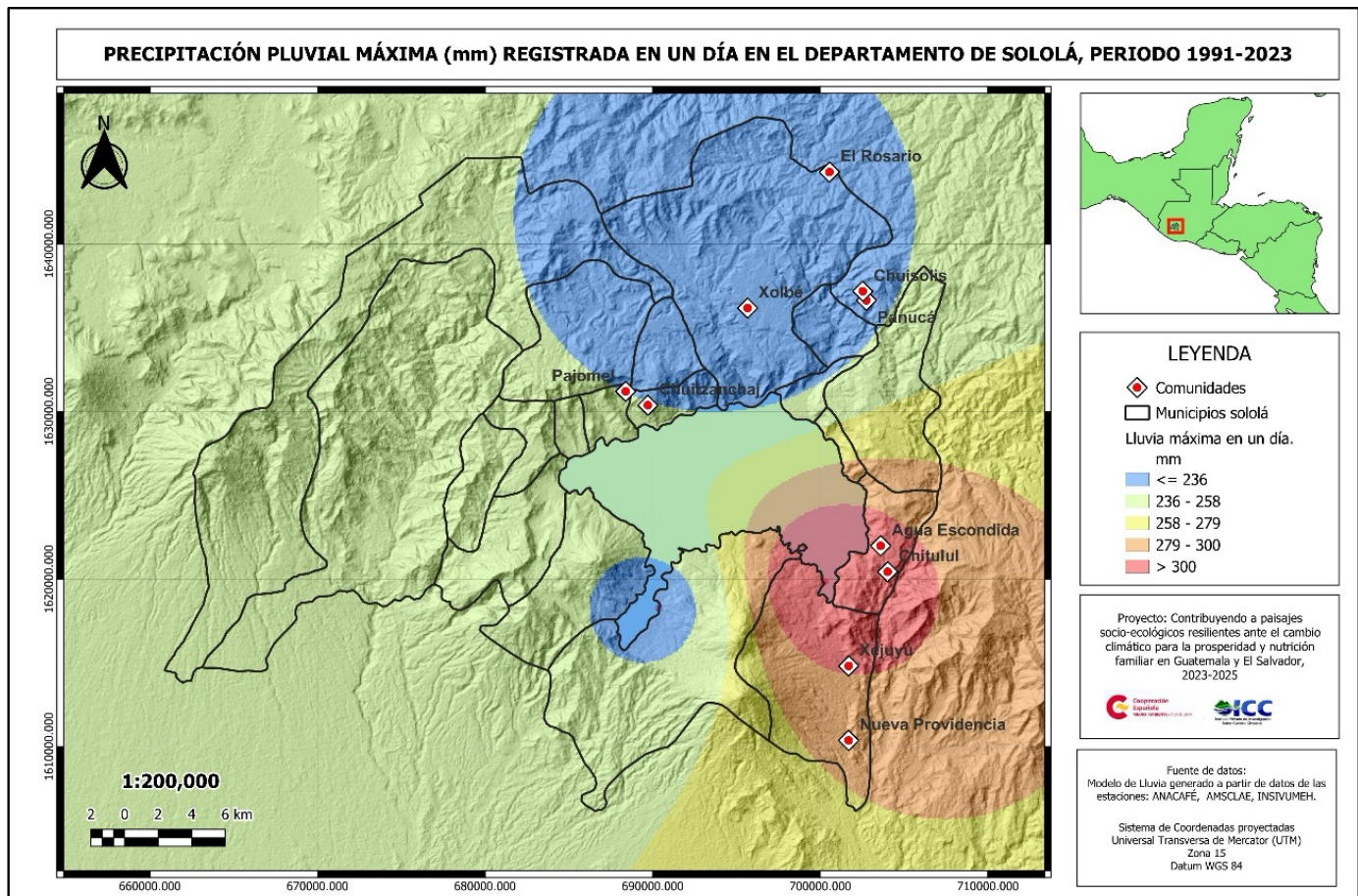


Figura 12. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.

En cuanto a la distribución espacial de los máximos acumulados de lluvia durante una hora (figura 13), resalta que la zona norte del departamento de Sololá y en el municipio de

Santiago Atitlán se han presentado lluvias mayores de 60 milímetros en una hora, lluvia clasificada según la AEMET (2023) como lluvias torrenciales

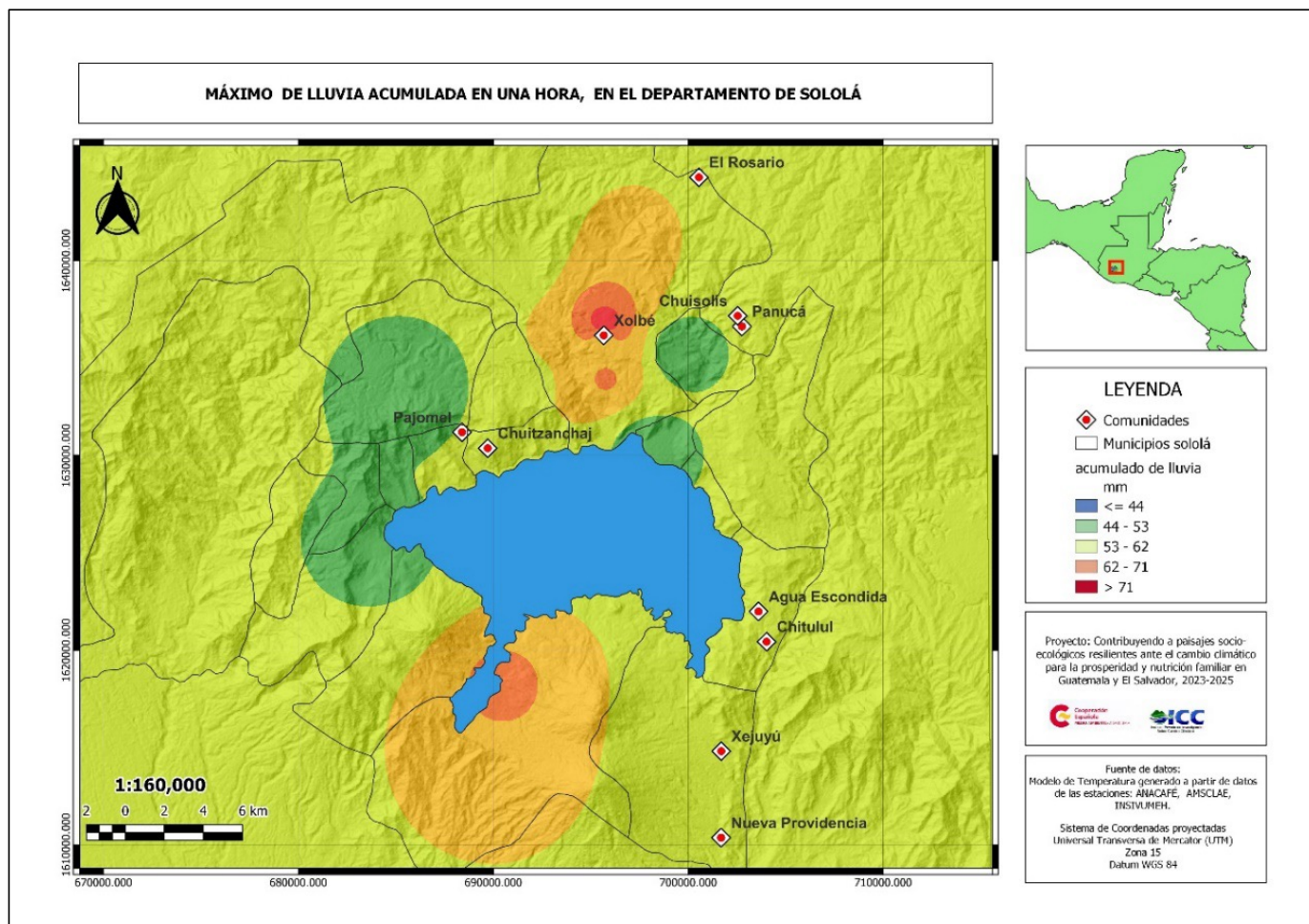


Figura 13. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá. Fuente. Mapa elaborado con datos de INSIVUMEH, ANACAFÉ, AMSCLAE.

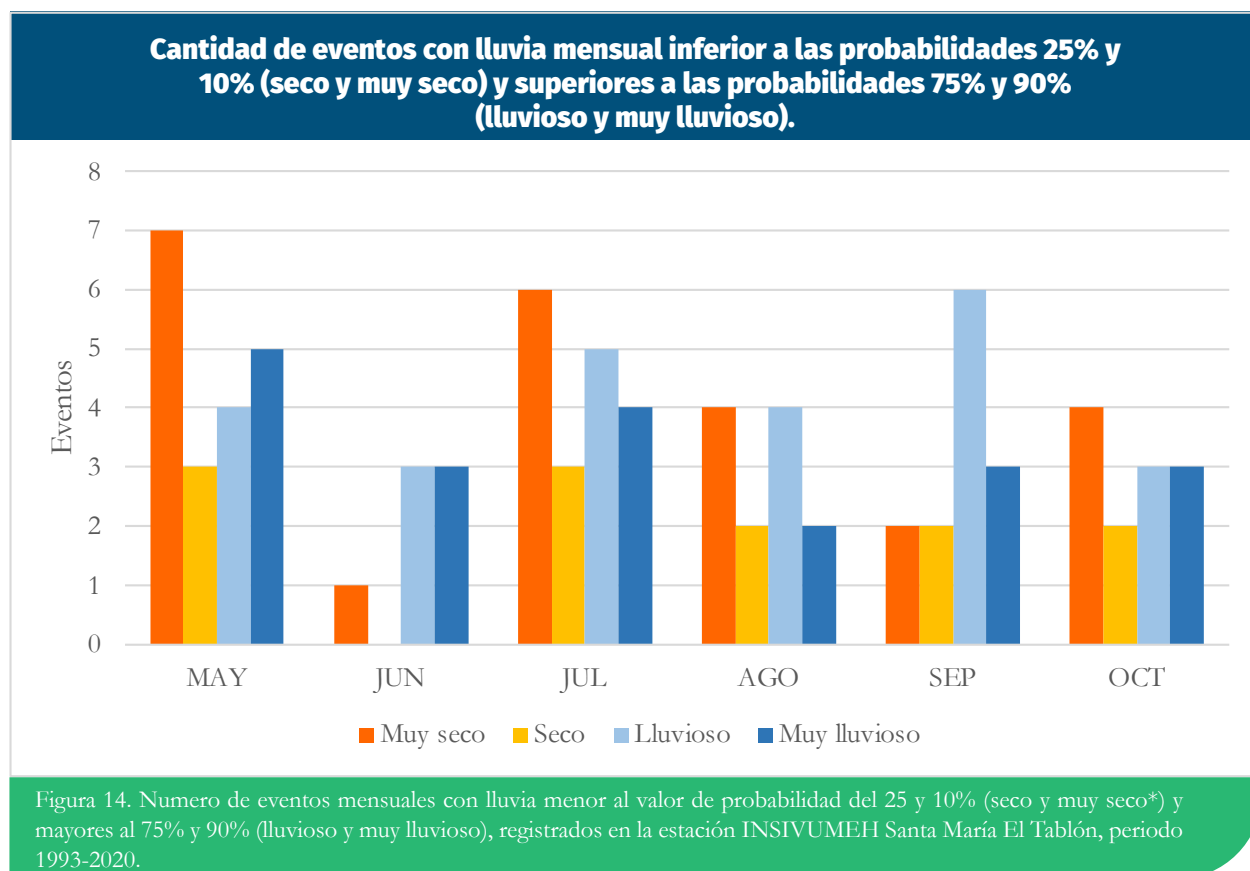
5.1.1.5 Sequía/ canícula

El suceso de meses donde la lluvia se encuentra entre la probabilidad de ocurrencia de 25 y 10%, considerándose como meses secos o inferiores a la probabilidad del 10%. De acuerdo con los registros, mayo y julio son los que registraron la mayor cantidad de eventos mensuales muy secos, con 7 y 6 eventos respectivamente, seguidos de los meses de agosto y octubre con 4 eventos cada uno.

Los eventos de lluvia acumulada mensual con probabilidad inferior al 10 % representan un acumulado de lluvia mensual inferior al potencial de evapotranspiración, siendo ésta de 114 mm (INSIVUMEH, 2002) para los meses de 30 días y 117.8 para los meses con 31 días. Por lo tanto, los meses de mayo y julio son los meses que más eventos categorizados como muy secos, siendo esta sequía de tipo meteorológica y agrícola.

Las sequías pueden ocurrir al inicio de la estación lluviosa, retrasándose el inicio de la lluvia o con regímenes de lluvia inferiores a los necesarios para que se desarrollen las plantas (Sequía agrícola), como en el año 2001, donde las lluvias se concentraron en cortos periodos

seguidos de semanas sin lluvia, situación que redujo la producción de maíz y frijol de secano. El año 2009 con un comportamiento similar al 2001. Para el año 2014, se presentó una canícula prolongada, iniciando en julio y que se prolongó hasta agosto, durando hasta 45 días sin lluvia.



En la figura 14, se observa la cantidad de eventos mensuales con probabilidades de ocurrencia de 10, 25, 75 y 90%. Donde los meses con lluvia con probabilidad inferior al 10%, se clasifican como muy seco. Para mayo

se registraron la mayor cantidad de eventos muy secos, seguido de julio con 6 eventos, agosto y octubre con 4 eventos cada uno, siendo los meses de mayo y julio donde se presentan las sequías agrícolas.

Anomalía de lluvia acumulada bimestral mayo-junio, julio-agosto, estación Santa María El Tablón

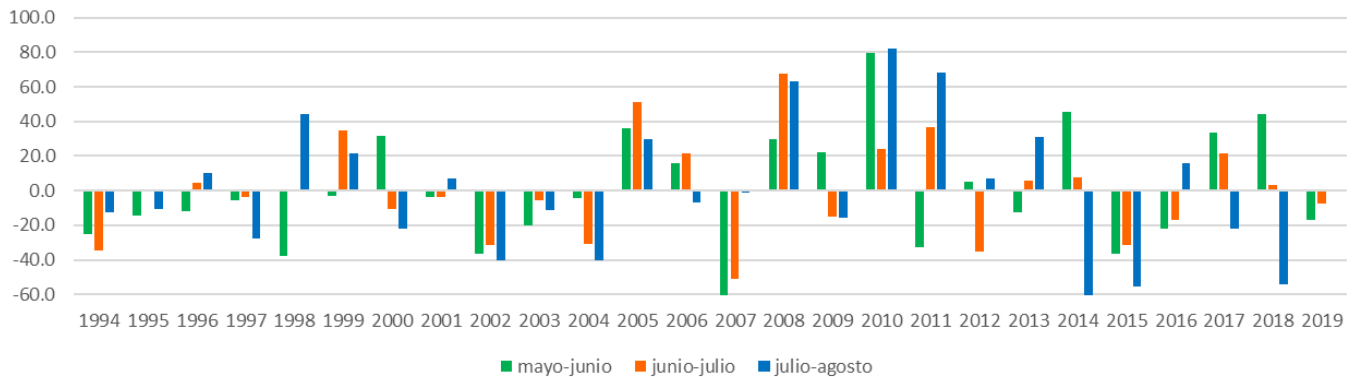


Figura 15. Anomalía de lluvia bimestral mayo-junio, junio-julio y julio-agosto, estación Santa María, El Tablón.

El análisis de la anomalía de lluvia por bimestre (Figura 15), señala los bimestres donde la lluvia fue inferior al promedio e indicando cuando estos fueron consecutivos, en este caso, se identifican los años 1994, 2002, 2004 y 2014, donde la lluvia se redujo durante los meses de mayo a agosto, también señala los años donde la lluvia fue escasa en su temporada de inicio, bimestre mayo-junio, años 1998, 2002, 2007, 2011 y 2015. Así mismo, se evidencian los meses donde ocurre la canícula, bimestre julio-agosto, donde los años más intensos fueron 2014, 2015 y 2018.

5.1.1.6 Vientos

El viento es definido por Ruiz, F. & Serna, J. (2020) como el movimiento horizontal del aire. Los mismos autores indican que el movimiento del aire es ocasionado por el diferencial de presión que se genera por el calentamiento desigual de la superficie terrestre y la atmósfera y por cambios altitudinales.

Los vientos con mayor frecuencia en el caserío Xolbé, Sololá, alcanzan velocidades entre 0 y 9.7 kilómetros por hora, representado por un 27.88% de los datos. El 52.8 % de los datos de velocidades máximas (2020-2024) se encuentran en el rango de 11 a 25.7 km/hr.

Frecuencia de velocidades máximas en caserío Xolbé, Sololá, 2020-2024

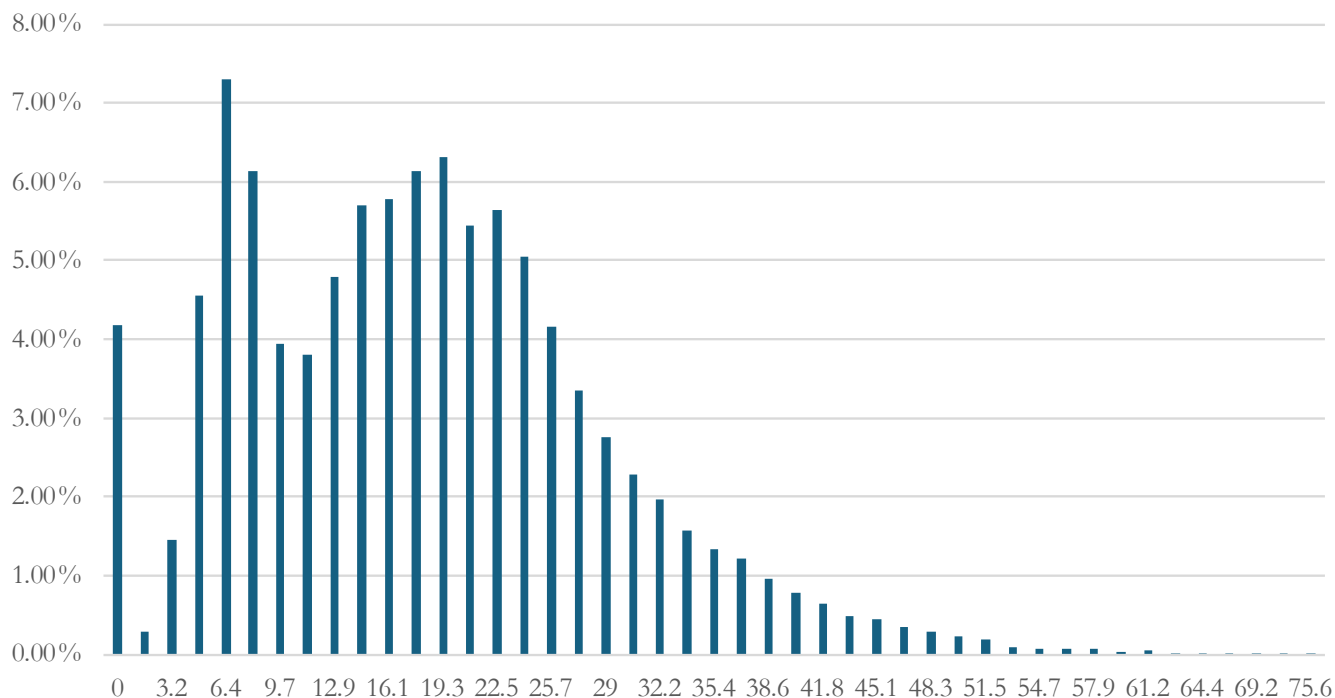


Figura 16. Frecuencia acumulada de velocidad máxima del viento registrada en la estación meteorológica El Tablón AMSCLAE.

Fuente: Elaborado con datos de estación meteorológica El Tablón de AMSCLAE

Para el territorio del caserío de Xolbé, el 4.18% de los datos registran vientos calmos o nulos como se observa en la figura 16, el 18.5% de los eventos de viento se dirigen hacia el norte; otro 13.01% con dirección al nornoreste;

11.8% con dirección al nornoroeste. Con base a lo anterior, la predominancia de los vientos es con dirección hacia el norte. Mientras que el porcentaje restante se distribuye a las restantes direcciones o rumbos (Figura 17).

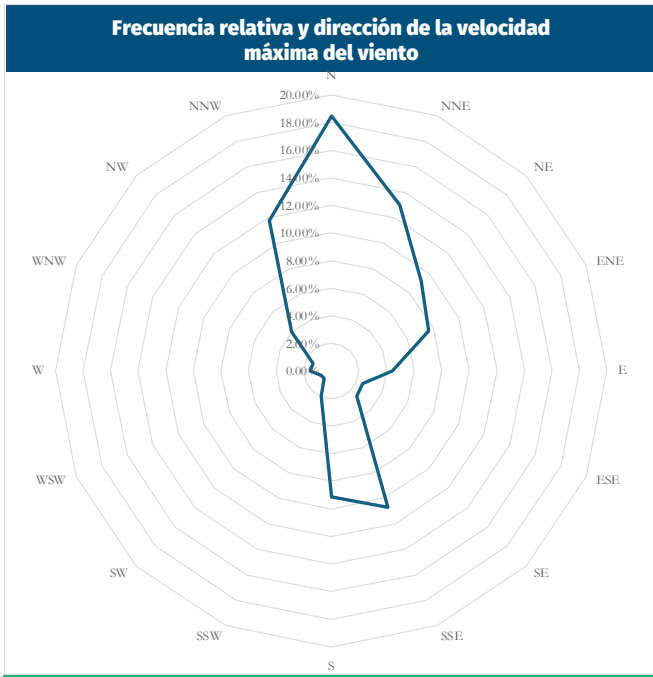


Figura 17. Dirección de los vientos con máxima velocidad registrada para el territorio de Xolbé, Sololá. Fuente: Elaborado con datos de estación meteorológica El Tablón AMSCLAE.

Para el municipio de Sololá durante 2020-2024, los datos disponibles muestran que se han alcanzado velocidades máximas de hasta 75.6 Km/h. La modelación de vientos máximos (Figura 18) para la zona norte del departamento, muestra vientos máximos para municipio de Sololá, entre 62 a 88 km/h, con predominancia hacia el noroeste y norte, que coincide con los datos locales, que registran 43.31% de frecuencia de vientos máximos rumbo nornoreste, norte y nornoreste.

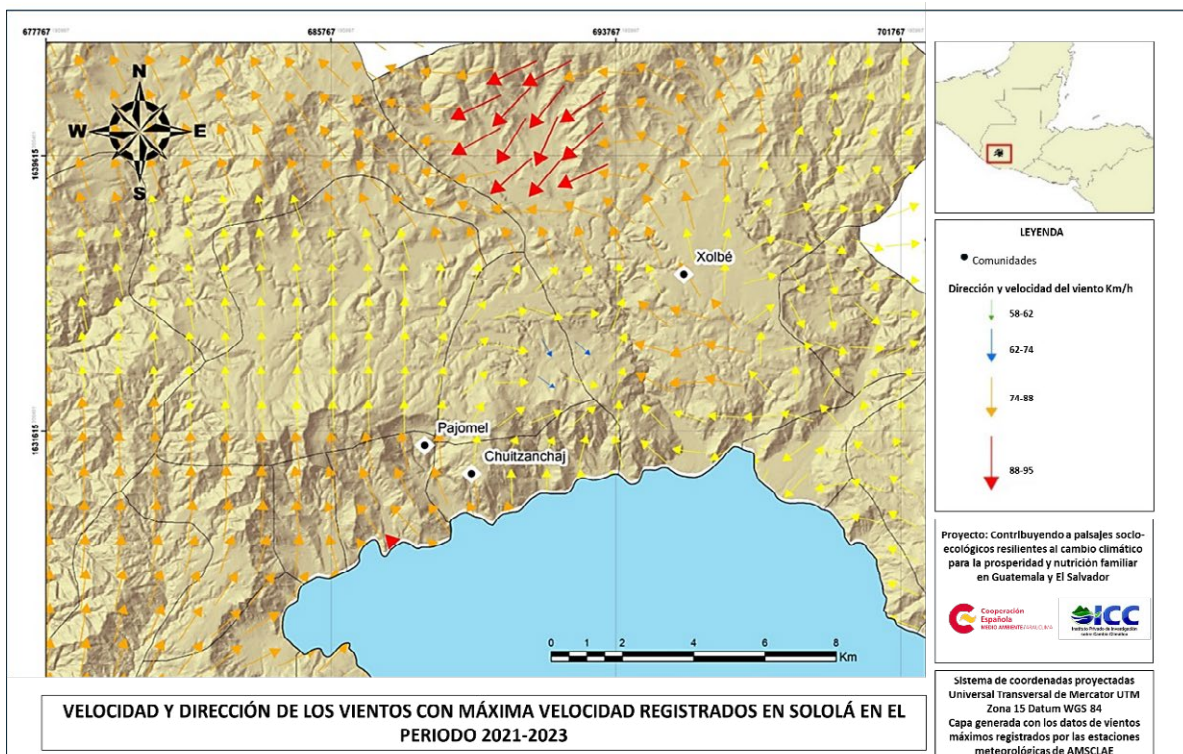


Figura 18. Mapa de velocidad y dirección de los vientos con máxima velocidad registrados en el municipio de Sololá, en el período 2021-2023. Fuente: Elaboración propia con datos de estaciones AMSCLAE.

La distribución del comportamiento de los vientos fuertes y su clasificación en la escala Beaufort en la zona norte del del departamento de Sololá (Figura 19). En la zona del caserío Xolbé, la velocidad del viento con mayor frecuencia se registró entre 0 a 6.4 km/h, que

corresponden a las escalas 0 y 1 de Beaufort, sin embargo, se han registrado vientos que alcanzan los 75.6 km/h, que se consideran de nivel 8 en la escala Beaufort, que implica temporales que pueden romper copas de árboles, afectar a la circulación de personas.

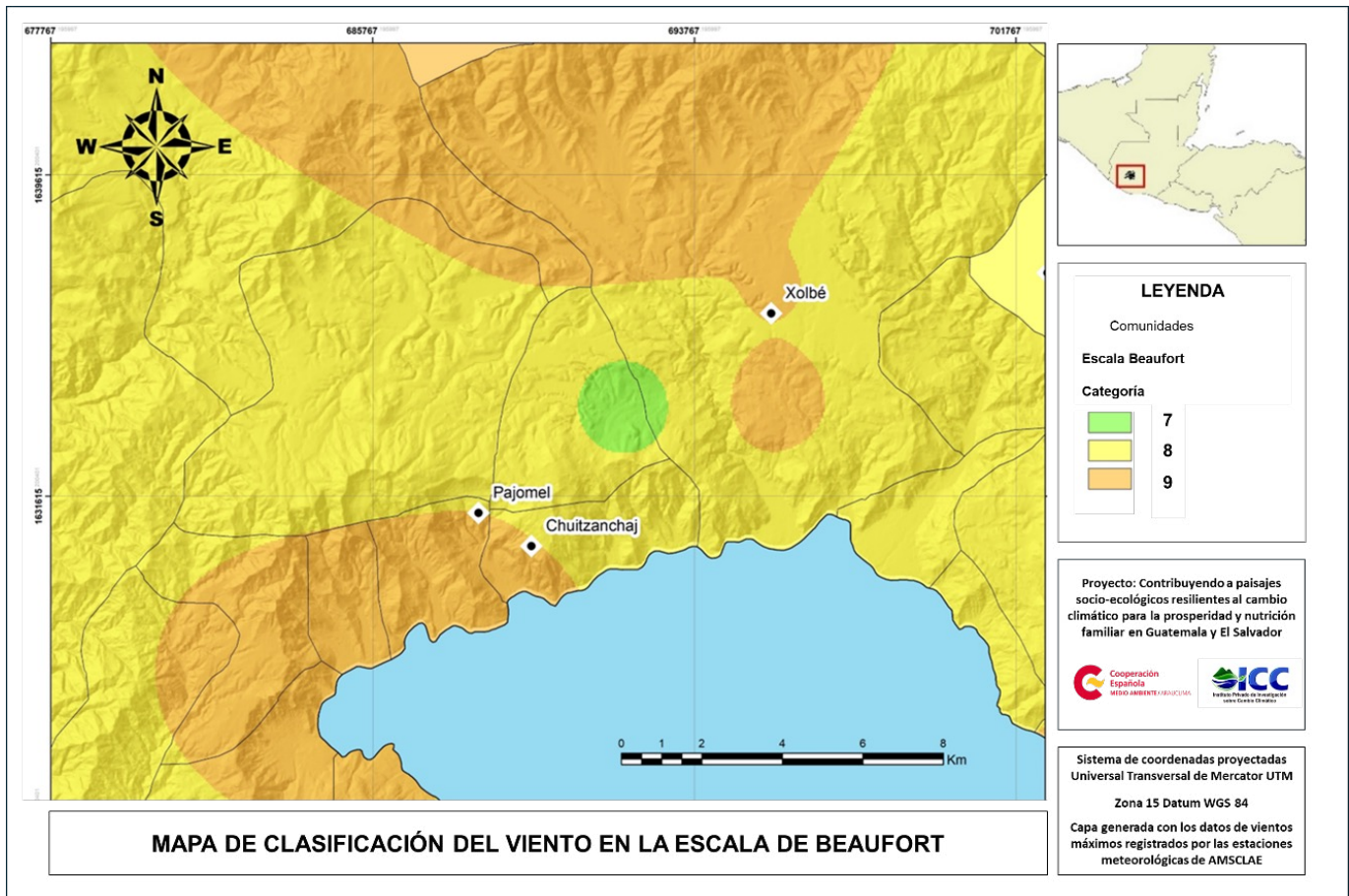


Figura 19. Mapa de clasificación del viento en la escala Beaufort que afectó al municipio de Sololá, en el periodo 2021-2023.

5.1.2. Cambios en el clima

El cambio climático supone la mayor amenaza para la población en general y los pequeños productores rurales, especialmente para las comunidades pobres y más vulnerables. Esta presión se produce a través de fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes, como sequías, tormentas e inundaciones, así como de cambios graduales como una duración más breve de la estación

húmeda y su inicio tardío, la subida del nivel del mar y el deshielo de los glaciares (FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2022).

IPCC (2014), define el cambio climático como la variación del estado del clima, identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos. El cambio climático

y el calentamiento de la atmósfera, el océano y la tierra, debido a la influencia humana es inequívoco.

El rango probable de aumento total de temperatura global en superficie provocado por las actividades humanas de 1850-1900 a 2010-2019 oscila entre 0.8°C y 1.3°C. En cuanto a la lluvia (precipitación) media mundial sobre las superficies continentales haya aumentado desde 1950, con un ritmo de aumento más rápido desde la década de 1980 (IPCC, 2021). Los cambios en la biosfera terrestre desde 1979 son coherentes con el calentamiento global; las zonas climáticas desplazados hacia los polos en ambos hemisferios. El nivel de mar global aumentó 0.20 metros entre 1901 y 2018 (IPCC, 2021).

En el contexto guatemalteco, el promedio de lluvia anual a nivel nacional ha aumentado 52 milímetros desde 1981. El 62% de las estaciones evaluadas tiene un incremento de lluvia

para el período de evaluación, presentando una variación entre uno a 43%, respecto al promedio de la estación, 1981-2000 (Bardales Espinoza, Castañón y Herrera, 2019). Los mismos autores encontraron que la temperatura media anual para Guatemala ha mostrado un incremento promedio de 0.6°C desde 1971. El comportamiento histórico de la temperatura muestra una clara tendencia al incremento en sus valores (calentamiento), condicionada por el predominio de anomalías positivas a finales de los años 80.

5.1.2.1 Cambios en la lluvia

Debido a los pocos registros históricos de variables climáticas que existe en el departamento de Sololá, se han utilizado datos de la estación de Santiago Atitlán, como referencia más cercana. De acuerdo con Guerra (2010), los registros de la estación meteorológica de Santiago Atitlán, presenta una tendencia de incremento de la cantidad de lluvias de acuerdo con los datos de 1979-2009 (Figura 20).

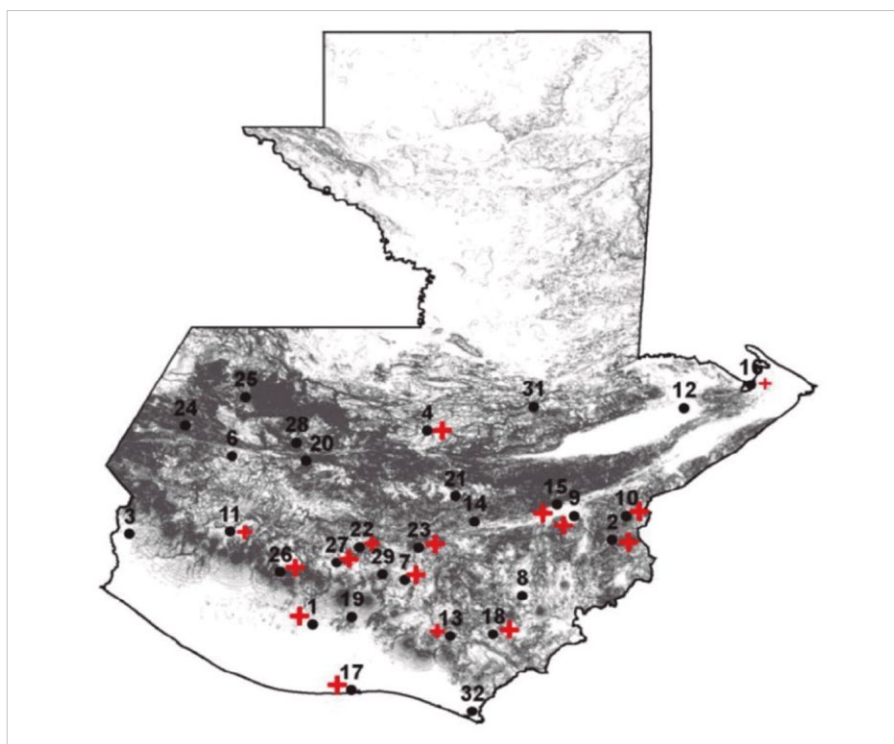


Figura 20. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.
Fuente: Guerra, A. 2010.

En cuanto a lluvias extremas, los registros de la estación meteorológica de Santiago Atitlán, nos revela que no existe tendencia estadística de

lluvias extremas en la zona sur del departamento de Sololá (Figura 21).

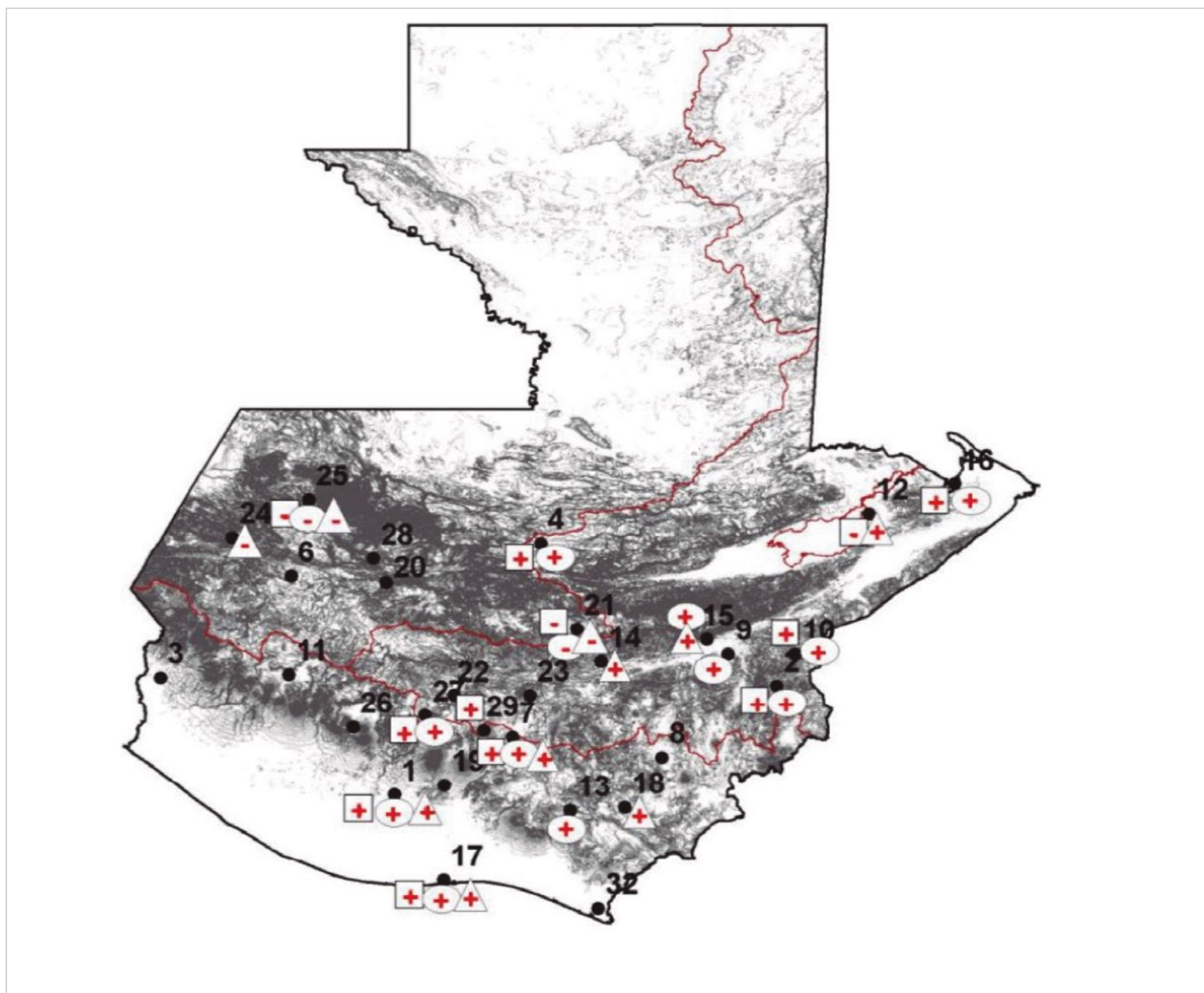


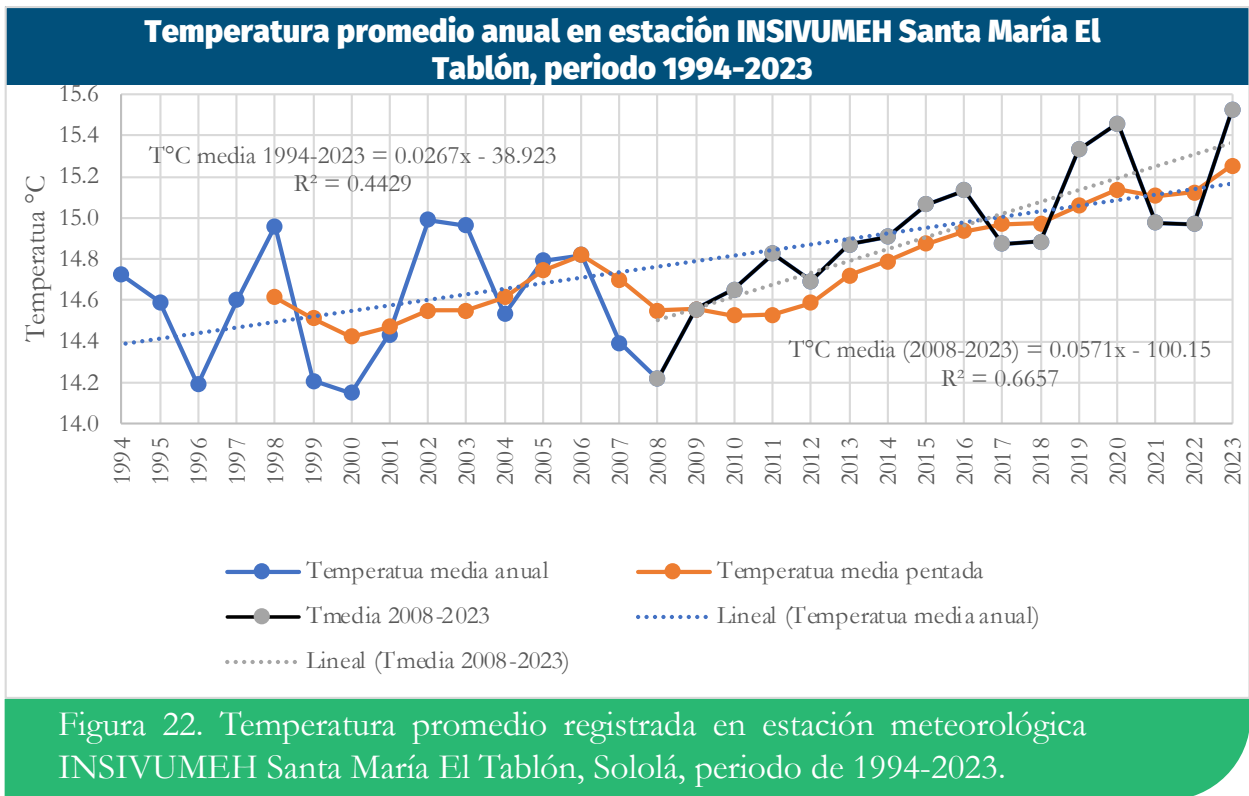
Figura 21. Tendencia de precipitación extrema anual en Guatemala

Fuente: Guerra, A. (2010).

5.1.2.2 Cambios en la temperatura

Los datos de temperatura de la estación de Santa María El Tablón, indican un incremento de la temperatura promedio en el período de observación de 1994-2023. El incremento más notable se registró a partir del año 2009; la tasa de incremento de la temperatura media en dicho

período fue de 0.057 grados Celsius por año (Figura 22), con coeficiente de determinación R^2 de 0.66. La misma tendencia al incremento de temperatura se observa en la temperatura máximas promedio anual y temperaturas mínimas absolutas.



5.1.2.3 Escenarios climáticos para el departamento de Sololá

En cuanto a la respuesta climática a futuro en el territorio guatemalteco y del departamento de Sololá, dependerá del calentamiento mundial a raíz de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el pasado, así como, las emisiones futuras a nivel global en conjunto con la variabilidad natural del clima (IPCC, 2014). Los escenarios climáticos del IPCC se han construido para aportar información para la toma de decisión en un futuro cercano bajo ciertos supuestos de comportamiento socioeconómico y de emisiones GEI. De acuerdo con IPCC (2021), los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué

manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis.

De acuerdo con el nuevo ciclo de informes del IPCC (AR6), existe un conjunto de cinco nuevos escenarios ilustrativos de emisiones de GEI para estudiar la respuesta climática a un abanico más amplio de futuros de gases de efecto invernadero, uso de la tierra y otros factores atmosféricos (IPCC, 2021). En estos modelos climáticos nuevos (CMIP6), considerado en el informe AR6 tiene un rango de sensibilidad climática más amplia que los escenarios CMIP5 (AR5). Dichos modelos nuevos sugieren incremento de temperaturas entre 3.3 a 5.7° Celsius para todo el planeta. Los escenarios elaborados para Guatemala, a una resolución espacial de cuatro kilómetros

cuadrados, sugieren que el municipio de Sololá podría experimentar un incremento de temperatura (escenario RCP8.5 entre 1.63°Celsius a 1.76°Celsius (Figura 23). Los

mayores incrementos podrían darse en la zona suroriente del municipio de Sololá, especialmente, la zona colindante al municipio de Panajachel.

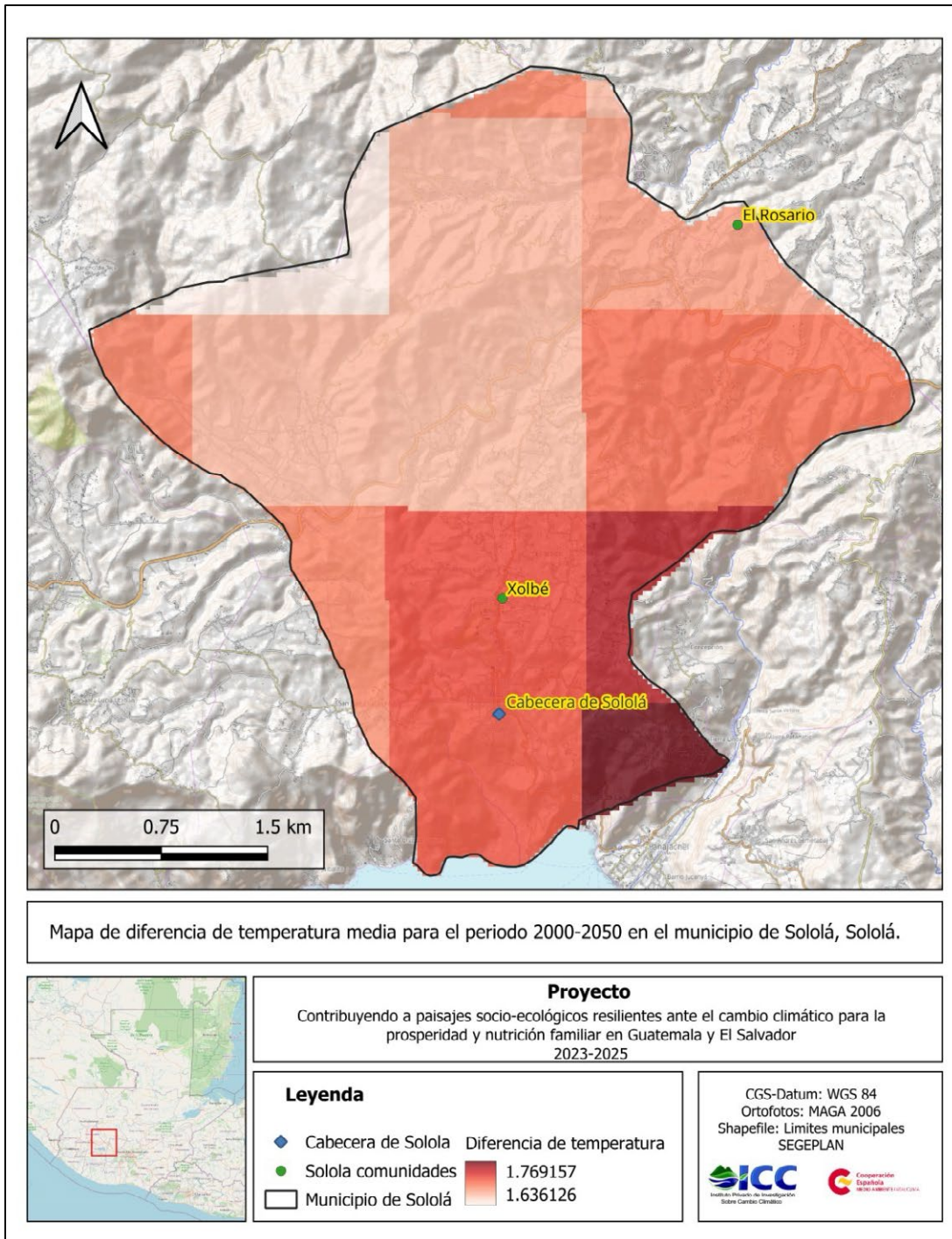


Figura 23. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio Sololá.

De acuerdo con los escenarios, se proyecta que la temperatura mínima anual para el año 2050 será más cálida comparado con los registros

del año 2010. Se espera un incremento de temperatura mínima en el rango de 1.2 a 1.6° Celsius (Figura 24).

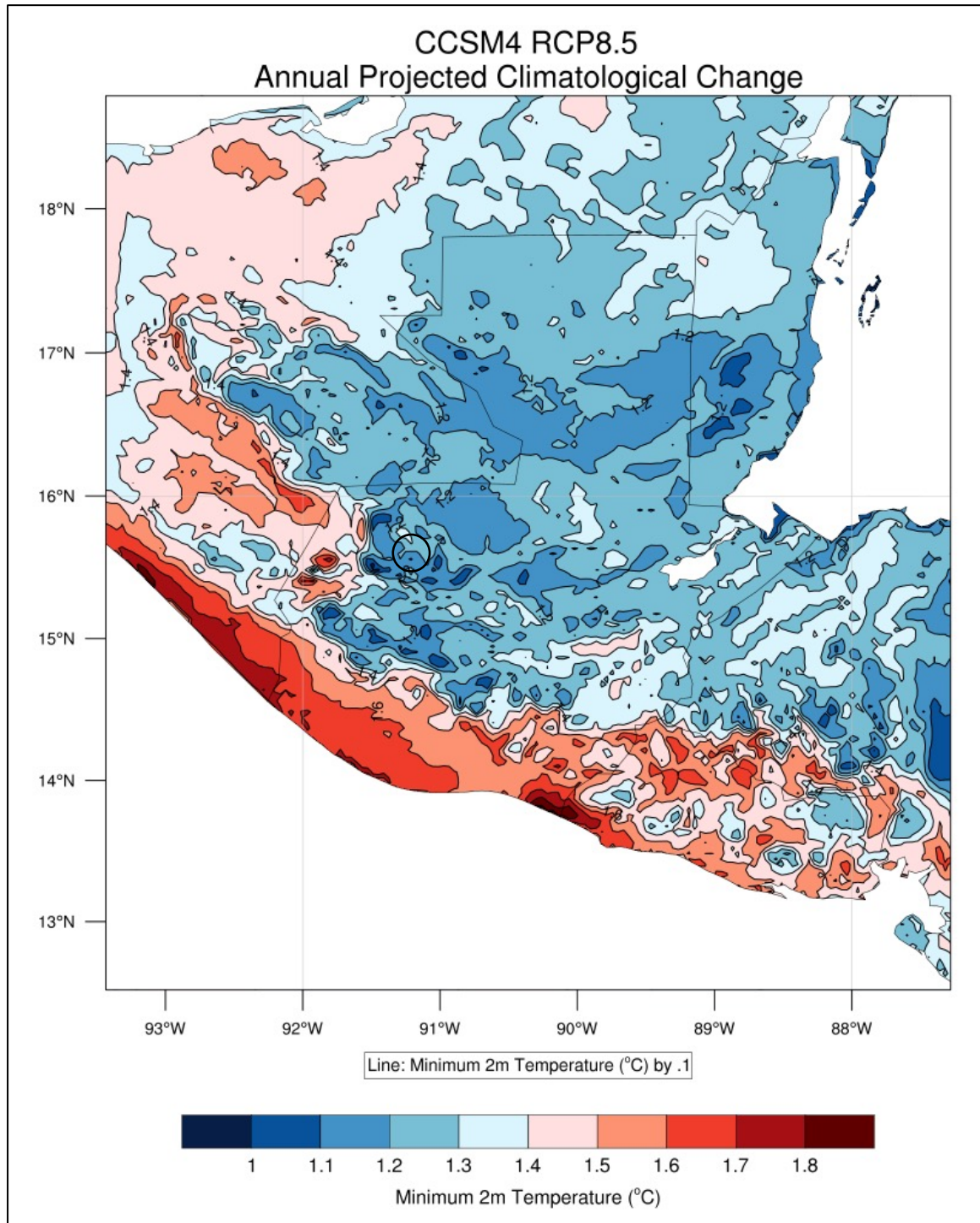


Figura 24. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en el territorio del municipio de Sololá, departamento de Sololá, Guatemala.

En cuanto a la lluvia (precipitación), las proyecciones a mediados del siglo XXI sugieren que el acumulado anual se verá reducido alrededor de 500 milímetros para el territorio

del municipio de Sololá (Figura 25). Para la zona de la “boca costa” del departamento de Sololá, la reducción anual de lluvia estaría alrededor de 1,000.0 milímetros anuales.

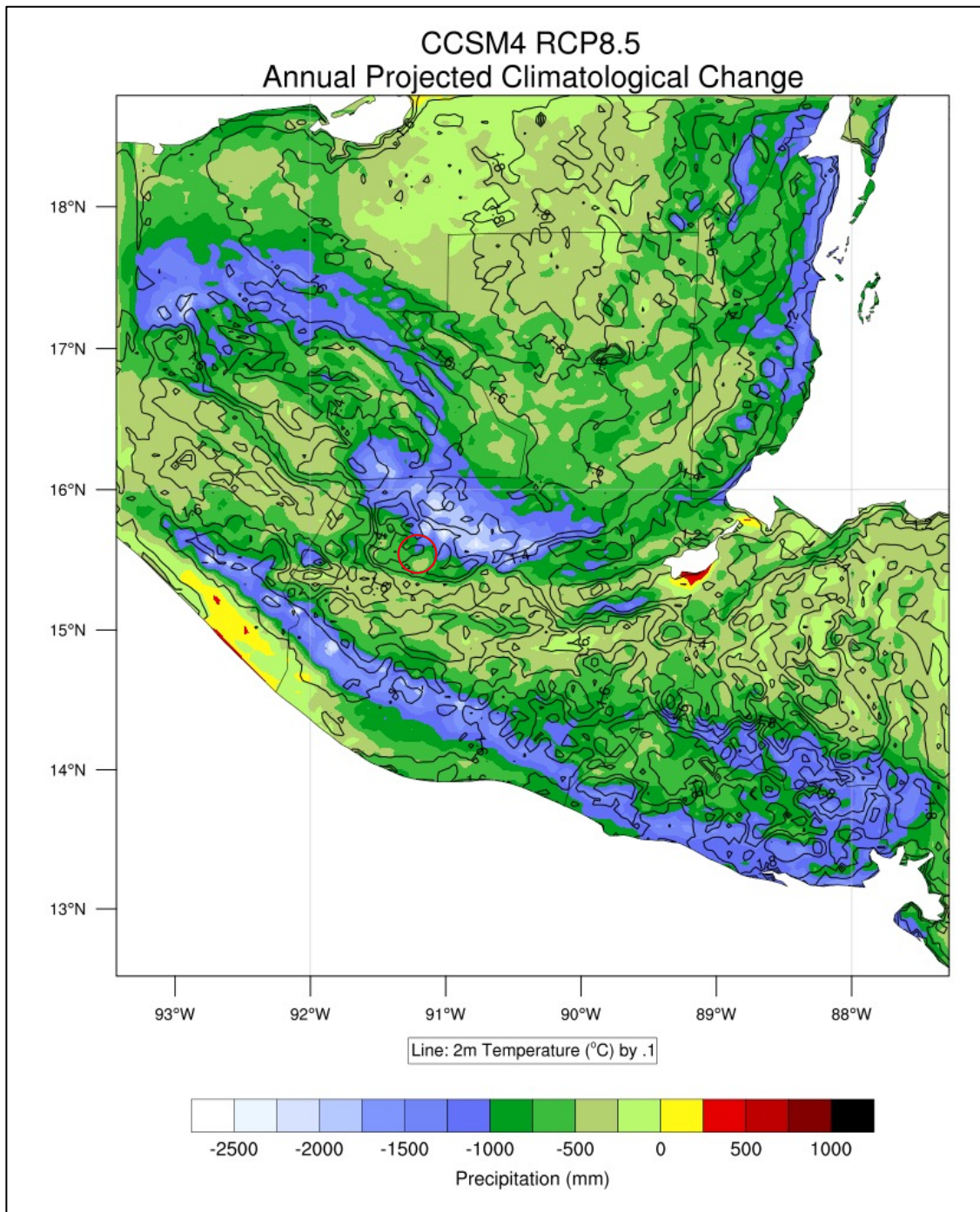


Figura 25. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) en comparación de los años 2000-2050 en la precipitación (lluvia) acumulada anual en el territorio del municipio Sololá, departamento de Sololá, Guatemala.

Para Guatemala, en general, se proyecta un aumento de temperatura entre los 1 y 2° C en su mayoría, entre 2.5 a 3° C para algunos sectores en específico, para la década del 2060 al 2070, respecto a la climatología de los años 2011-2020 (Rivera, P.F., Bardales, W.A; Ochoa W.,2019).

5.2. Vulnerabilidad climática en el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.

La vulnerabilidad se define como propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2021). Esta propensión se analiza en este apartado a nivel comunitario y los medios de vida relevantes bajo la percepción de los miembros de la comunidad.

Caserío Xolbé cuyo nombre proviene del idioma maya Kaqchikel y que se traduce al español como “Xol” = “muchos” / “que cruza”, “Be” = “camino” traducido al español puede interpretarse como; “muchos caminos” y/o “El cruce de varios caminos”

Dentro de los cambios biofísicos que se han dado en el territorio de Xolbé con base a la percepción comunitaria, en años anteriores había más áreas verdes y pocas viviendas. Con el transcurrir de los años la población ha estado aumentando por tal razón ha incrementado la tala de árboles para la construcción de viviendas y destinar áreas agrícolas. Así mismo, han notado la disminución del caudal del río Chaquijyá, pero que en época lluviosa este aumenta, arrastrando parte del suelo que se encuentra en las orillas. Se contaban con dos fuentes de agua (manantiales) que se empleaban

para el lavado de ropa, pero con el transcurrir de los años se secaron. Las personas indicaron que ahora las lluvias, sequías y heladas son más intensas, aunque, por el lado de las heladas han reducido su frecuencia.

5.2.1. Medios de vida del caserío Xolbé

Un medio de vida comprende las posibilidades, activos (recursos materiales o sociales) y actividades necesarias para ganarse la vida como afirma DFID, (2001). Los medios de vida se pueden considerar como una serie de actividades que permiten a la población suplir sus necesidades y estas se encuentran ligadas a las condiciones topográficas y recursos naturales del entorno.

La población del caserío Xolbé informaron que los medios de vida de mayor relevancia por el valor cultural, el aporte ya sea en especie o ingreso económico, corresponde a la producción de aves de traspatio de la especie *Gallus gallus domesticus*, (ver cuadro 3), seguido por la actividad de jornalero que ocupa por lo menos un miembro de cada familia y que conlleva a la ejecución de una actividad para una tercera persona y de remuneración diaria o por un tiempo definido sin ningún tipo de prestación laboral. La agricultura ocupa una cuarta posición cuya actividad principal se basa en la producción de hortalizas como repollo, remolacha, coliflor, tomillo, entre otras especies.

Cuadro 3. Medios de vida más importantes del caserío Xolbé.

No.	Medios de vida	Porcentaje de hogares/población que la desarrolla
1	Actividad pecuaria (aves)	100
2	Jornaleros	100
3	Ama de casa	100
4	Agricultura	75
5	Tejedoras	75
6	Bordados	75
7	Comercio	57
8	Albañiles	42.5

En el tercer puesto se ubica la actividad de ama de casa, en la actualidad es una labor no remunerada, pero las personas consultadas aseguran que de imponerle un valor económico a dicha actividad, esta debería oscilar entre Q 2,000.00 a Q 3,000.00 debido a la carga de actividades que esto conlleva, como; velar por el bienestar de los miembros de su familia, administración de recursos, producción y manipulación de alimentos, entre otras actividades en las que invierten por lo menos 10 a 12 horas al día.

Otras actividades de menor implementación por las familias se identificaron como la actividad de tejedoras, que es desarrollada principalmente por las mujeres donde los tejidos que elaboran los utilizan para uso personal y/o comercialización. Dicha actividad puede realizarse a través del telar de cintura o del telar estacionario. La actividad de bordados que también forma parte importante de las actividades que realizan en la comunidad, esto incluye bordados de blusas, fajas y cortes (indumentaria) lo que conlleva a una labor manual detallada para la construcción de formas a petición del cliente o de su propio diseño. El comercio informal es otra forma

de obtener recurso, y puede ser a través de tiendas de consumo diario, librerías, farmacias, misceláneos, ventas de alimentos procesados y no regulados.

Como última actividad identificada, esta corresponde a la albañilería, que ha tenido un incremento en la comunidad debido a los ingresos económicos principalmente provenientes de las personas que han migrado hacia Estados Unidos, principalmente, son quienes han invertido en la construcción de viviendas.

5.2.2. Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en el caserío de Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá. Con el propósito de identificar fenómenos cíclicos como estrés hídrico, amenazas, enfermedades, entre otros eventos naturales o socioeconómicos en el territorio, el cuadro dos resume una serie de actividades y eventos particulares para el territorio del caserío Xolbé.

Cuadro 4. Calendario estacional para el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.

No.	Evento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Siembra y cosecha de maíz												
2	Canícula												
3	Fuertes vientos												
4	Patrones de lluvia												
5	Enfermedades y plagas												
6	Enfermedades (aves)												
7	Sequía												
8	Repollo												
9	Frijol												

Los fenómenos (Cuadro 4) que bajo la percepción comunitaria son recurrentes todos los años, aunque presentan ciertos cambios con la intensidad. La siembra de maíz en áreas montañosas se realiza en marzo y abril, debido a mayor disponibilidad de humedad en los suelos. En zonas bajas de la comunidad la siembra se efectúa en mayo, ya que la disponibilidad de humedad incrementa y favorece la siembra. La cosecha se lleva a cabo en diciembre y enero. Previo a la siembra de maíz, es necesario la selección de mazorcas. La mazorca con olote y grano grandes es empleada para las siembras de marzo y abril. Las mazorcas con olote delgado y grano pequeño se siembran el mayo. El conocimiento local sobre el uso de las semillas de maíz resalta que los granos de menor tamaño tienden a germinar con mayor rapidez y por ello se emplea en mayo y los de mayor tamaño son sembradas en marzo y abril. Según la experiencia local, las semillas de grano grande tienen mayor disponibilidad de nutrientes y ayudan a soportar el periodo seco y se preparan para recibir las primeras lluvias de mayo. Los asistentes indicaron que actualmente en las labores en campo queman el rastrojo para evitar menos labores.

La canícula se presenta durante julio o agosto y tiene una duración aproximada de 12 a 15 días. Dependiendo de la intensidad del fenómeno puede pasar desapercibido o impactar de manera significativa sobre los cultivos, primordialmente sobre el llenado de los granos (julio a agosto). Los vientos fuertes inician en octubre y finalizan en febrero, sin embargo, estos son más intensos durante noviembre y diciembre. En este periodo, las aves tienden a enfermarse según la percepción comunitaria, pero como se muestra en el cuadro 3, no existe un vínculo directo entre dicho fenómeno y las infecciones respiratorias que si bien puede ser un coadyuvante, deben darse por otros factores que no se consideraron en este estudio. Por su parte la infraestructura frágil construidas o con techos de láminas metálicas se ven vulneradas, además, las personas aseguran que por estos fenómenos la salud humana se ve comprometida por IRAS (infecciones respiratorias agudas). Un fenómeno vinculado a los fuertes vientos es la combinación con las lluvias que al presentarse ambos fenómenos incrementan la posibilidad de generar acame en el cultivo y la producción puede disminuir hasta un 60%. Entre las plagas que afecta el cultivo de maíz se encuentra el gusano cogollero (*Spodoptera*

frugiperda), que afecta a partir de junio en adelante, ocasionando perforaciones en las hojas, espiga y tallos, con consecuencias en el desarrollo de las plantas de maíz. La poblacional del gusano cogollero hasta la fecha, no representa un valor de importancia, sin embargo, con el incremento de temperatura será necesario un manejo integrado. La gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) es una plaga que se alimenta de las raíces de las plantas provocando que las plantas se marchiten y se sequen. Así mismo, en algunas parcelas aparecen larvas de color verde que hacen que las hojas de maíz se enrollen. Para el control las personas aplican un biopreparado a base de ajo y chile caballo. La taltuza (*Geomyidae*) es otra de las plagas que provoca daños al cultivo de maíz, primordialmente, durante julio y agosto.

En marzo, abril y mayo las aves de corral se ven afectadas por la enfermedad de coriza infecciosa (*Avibacterium paragallinarum*), que afecta las vías respiratorias de las aves y provoca inflamación facial. Para su tratamiento las personas aplican un preparado de té de limón, eucalipto, jugo de limón y tetraciclina a las aves enfermas. Otra de las enfermedades de importancia es el Newcastle (*Paramyxovirus aviar* tipo 1 “APMV-1”), los síntomas de esta enfermedad son tos, estornudos, parálisis, cuello torcido, diarrea y pérdida de apetito, para estas enfermedades no administran medicamento a las aves.

La época seca comienza en noviembre y finaliza en marzo, los participantes indicaron que durante estos meses el caudal del nacimiento disminuye, pero por el momento no es relevante a nivel del caserío.

5.2.3. Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad.

En este apartado se aborda el conocimiento local sobre las amenazas (eventos meteorológicos) y sus impactos en los principales medios de vida en el territorio del caserío Xolbé. Basado en la experiencia de las personas y la memoria histórica colectiva, los hallazgos se discuten en los siguientes párrafos.

Las personas delimitaron las áreas específicas de los impactos de las amenazas meteorológicas o climáticas (Figura 26). Dado a las condiciones particulares de esta localidad su exposición es especial ante las siguientes amenazas.

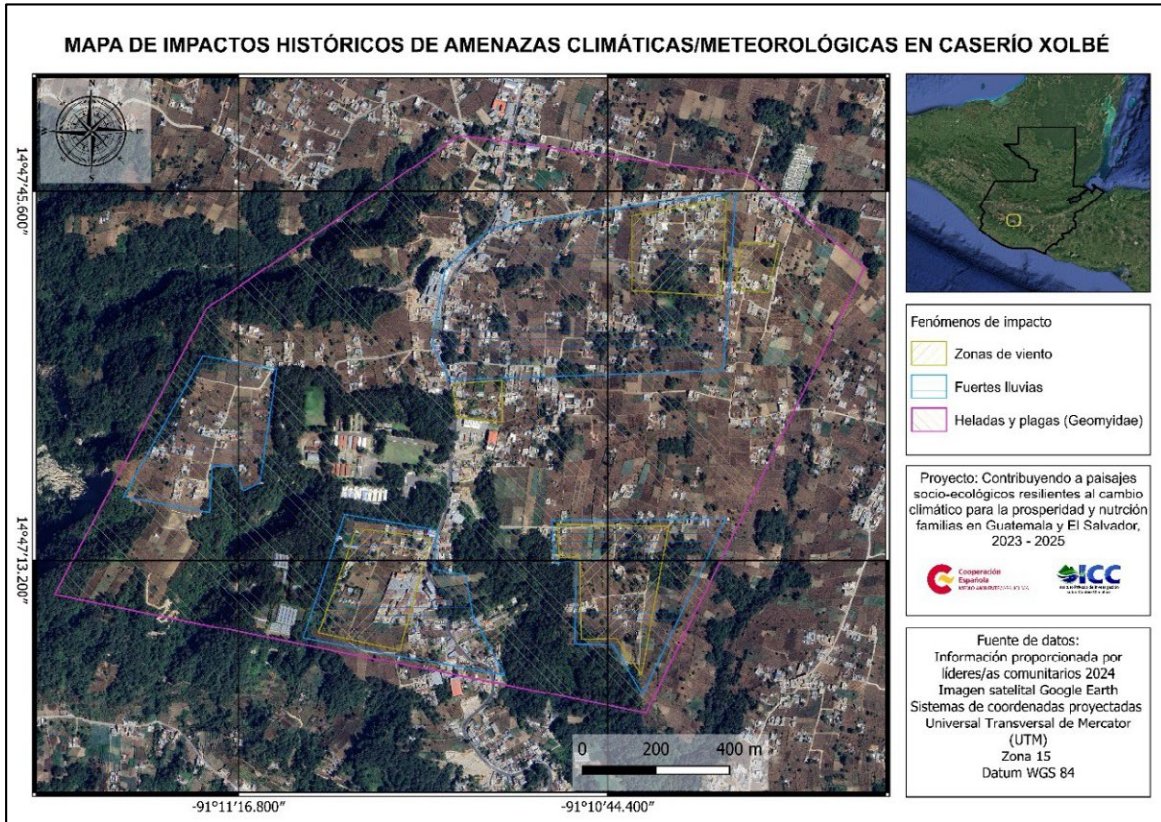


Figura 26. Mapa de impactos históricos de amenazas climáticas/meteorológicas en el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.

Entre las amenazas climáticas y no climáticas se mencionaron las heladas. Un fenómeno con baja frecuencia (percepción) y en decrecimiento. Aunque, sigue siendo un fenómeno de impacto económico sobre la agricultura (hortalizas) como se enmarca en la figura 26. El territorio comunitario está relativamente expuesto a una fuerte presión de cambio de uso de suelo. Los fenómenos como fuertes lluvias tienden a generar la erosión hídrica que impacta en las áreas productivas. Las fuertes lluvias han generado impactos negativos en zonas semi-onduladas, aunado a un sistema de alcantarillado de bajo flujo, lo que tiende a generar problemas de estancamiento de aguas pluviales. Se enmarcan zonas donde los fuertes vientos se

consideran de mayor relevancia especialmente por el daño foliar en el sector agrícola, pero también en los potenciales daños a las viviendas de infraestructura frágil.

5.2.4. Análisis de vulnerabilidad climática

La vulnerabilidad climática puede conceptualizarse como la predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014).

Las personas con base a su memoria individual con relación a eventos o sucesos pasados, la exposición a los fenómenos (amenazas

climáticas/meteorológicas) y la susceptibilidad de cada medio de vida de ser afectado por este tipo de fenómenos, se ha realizado la comparación de estos acontecimientos como se observan en el cuadro 5.

La valoración de vulnerabilidad se basó en una escala de Likert que consideró cuatro niveles, siendo los siguientes:

- 3 = Nivel alto de vulnerabilidad del medio de vida
- 2 = Nivel medio de vulnerabilidad del medio de vida
- 1 = Nivel bajo de vulnerabilidad del medio de vida
- 0 = Vulnerabilidad nula del medio de vida

Cuadro 5. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para el caserío Xolbé.

Medios de vida/ Amenazas	Fuertes vientos	Fuertes lluvias	Heladas	Sequías	Canículas	Aumento de temperatura
Actividad pecuaria (aves)	2.50	2	2.13	2.38	1.13	1.64
Jornaleros	1.88	2.00	1.13	1.00	0.88	1.25
Ama de casa	1.63	1.75	1.38	0.75	0.75	1.00
Agricultura	2.50	2.25	2.13	2.38	1.75	1.88
Tejedoras	1.50	1.75	0.88	0.38	0.50	0.75
Albañiles	1.38	1.13	1.00	0.38	0.50	0.75

El fenómeno de fuertes vientos tiene efectos relativamente altos para el medio de vida ama de casa. Las personas justifican dicho impacto por el retraso que dicho fenómeno conlleva para actividades en el hogar y efectos sobre la salud de los niños por las polvaredas que provocan enfermedades respiratorias y conlleva a una mayor carga y rezago en las actividades. Aunado a lo anterior consideran que los demás fenómenos enlistados tienen un impacto relativamente moderado que hasta el momento no ha sido de un impacto significativo.

La actividad pecuaria basada en la producción de aves de traspatio (*Gallus domesticus*), es una de las más vulnerables por las enfermedades que son transmitidas por medio del viento, por

su capacidad de transporte para los virus y otros microorganismos. Las aves al estar en condiciones templadas/frías, las fuertes lluvias y heladas tienden a potencializar los posibles efectos de enfermedades respiratorias lo que provoca la pérdida de estos animales. Sin embargo, el incremento de temperatura puede modificar los efectos de las fuertes lluvias y heladas, que actualmente su impacto es moderado.

De acuerdo con la población de Xolbé, los fuertes vientos pueden provocar daños en el área foliar y reduce los procesos fisiológicos a través de la fotosíntesis y con ello reducir la productividad, aunque no se cuentan con datos que validen dicho argumento, para los participantes de Xolbé, esta es una realidad.

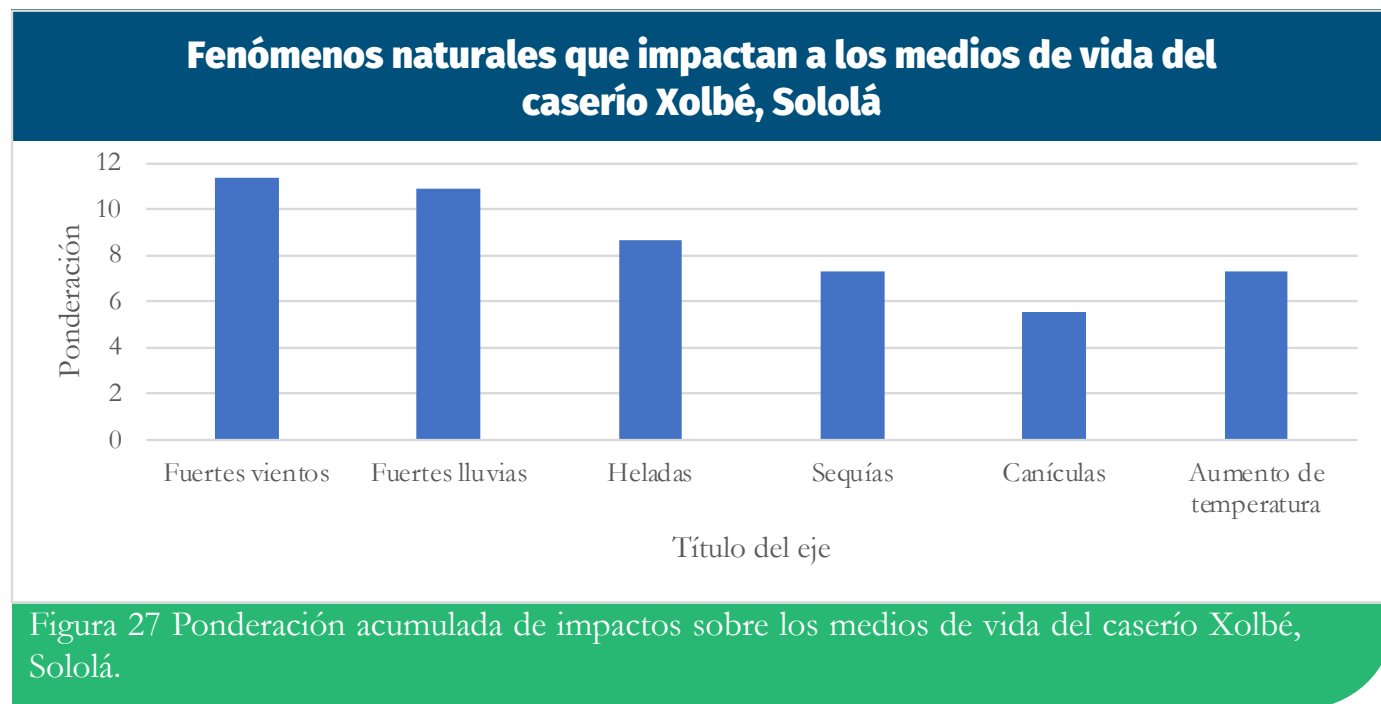
Las fuertes lluvias y heladas para los cultivos no protegidos tienden a tener un impacto importante, ya que estos fenómenos pueden acabar con los cultivos en cuestión de días, al no contar con sistemas de drenajes al contorno que evacúen el exceso de aguas pluviales. Las heladas a pesar de baja frecuencia, estas ocasionan daños importantes en el área foliar de las hortalizas y como consecuencia principal una baja productividad.

Por otro lado, la época no lluviosa, se contabiliza a partir de noviembre a abril. Se percibe que se intensifica en marzo a abril, especialmente, por sus efectos sobre el caudal de fuentes hídricas cercanas y por ende una limitante para actividades como la aplicación de riego y con ello una reducción en la producción agrícola e incremento de los costos para los consumidores.

VI. Discusión de resultados

En la fase de análisis del impacto de amenazas climáticas sobre los medios de vida, los comunitarios consideraron a los vientos tipificados como fuertes, seguido de lluvias fuertes como las de mayores

efectos sobre los medios de vida. Seguido por las heladas, aumento de temperatura, sequías, y finalmente, la canícula como fenómenos (Figura 27).



6.1. Sequía

Los meses donde la cantidad de lluvia ha sido menor de lo habitual (entre la probabilidad de 25 a 10%), se consideran como meses secos. Por ejemplo, se han observado en el territorio de Sololá meses con muy baja cantidad (acumulado) de lluvia que sólo ocurre solo una vez a cada cuatro años, y en otros casos, una vez cada diez años. Durante la temporada de lluvias, los meses que más veces registraron poca lluvia fueron mayo y julio con siete y seis ocasiones, respectivamente. Le siguen agosto y octubre con cuatro ocasiones cada uno.

Dichos meses con poca lluvia, no logran superar el potencial de evapotranspiración de 114 mm

(INSIVUMEH, 2002) para los meses de 30 días y 117.8 mm para los meses con 31 días. De acuerdo con lo anterior, los meses de mayo y julio acumularon más eventos categorizados como muy secos, siendo esta sequía de tipo meteorológica y agrícola.

Las sequías pueden ocurrir al inicio de la estación lluviosa, retrasándose el inicio de la lluvia o con regímenes de lluvia inferiores a los necesarios para que se desarrollen las plantas (Sequía agrícola), como lo ocurrido en el año 2001, donde las lluvias se concentraron en cortos periodos seguidos de semanas sin lluvia, situación que redujo la producción de maíz y frijol de secano. El año 2009 con un

comportamiento similar al 2001. La sequía agrícola según Ponvert-Delisle, D. (2016) es la combinación de la cantidad de lluvia, su distribución, el agua almacenada en el suelo y la evaporación que causan disminución considerable en el rendimiento de los cultivos, Valiente, O. (2001) indica que es la disminución de la disponibilidad del agua en el suelo que permitan el desarrollo de un cultivo en cualquier etapa de su fenología.

Otra definición de sequía, es la disminución de los recursos hídricos durante un periodo suficientemente prolongado, que afecta determinada región y que trae consecuencias socioeconómicas adversas (CRC-OSA, CIIFEN, 2025). Las sequías se clasifican según la disciplina que analice el fenómeno, Valiente, O. (2001) hace un análisis de las definiciones sobre las sequías, indicando que la clasificación de Wilhite & Glantz (1985) es la más completa, esta clasificación agrupa las sequías en meteorológicas, hidrológica, agrícola y económica.

Para el año 2014, se presentó una canícula prolongada, iniciando en julio y que se prolongó hasta agosto, durando hasta 45 días sin lluvia. El atraso del inicio de la estación lluviosa afecta directamente al caserío, debido a que la fuente de agua de uso común es un nacimiento/manantial, y ésta reduce su caudal a finales del mes de abril.

La vulnerabilidad percibida por canícula y sequía para el caserío Xolbé es valorada entre media y baja alta ante la canícula y la sequía (el rezago en el inicio de la época lluviosa), respectivamente. Para los productores en Xolbé

una forma de adaptación ha implicado limitarse a producir de manera dependiente del ingreso de la temporada lluviosa y solo los agricultores que poseen acceso a abastecimiento de agua de fuentes cercanas pueden producir a través del riego (método de aspersión).

6.2. Vientos:

El análisis de los datos de ocurrencia de vientos con máximas velocidades coincide con la percepción comunitaria sobre los meses en que el viento alcanza las máximas velocidades o más fuertes; sin embargo, el análisis indica que también se registraron vientos fuertes en abril y julio, y las menores velocidades del viento se registraron en mayo a septiembre.

6.3. Temperatura:

La percepción comunitaria destaca un aumento de la temperatura, que concuerda con los registros de la estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, que señala que la temperatura media se ha incrementado a partir del año 2009, a razón de 0.064°C por año.

Las condiciones de temperatura afectan la producción de aguacate Hass, Salazar (2002), indica que temperaturas inferiores a 15°C con duración de 10 horas al día inducen la floración fuerte en aguacate Hass, temperaturas de 24°C en el día y 19°C durante la noche, con fotoperiodo de 12 horas o una temperatura mínima constante mayor de 20°C no producen inflorescencia en Aguacate Hass (Salazar, 2002). Las condiciones de temperatura mínima estimulan la iniciación floral, mientras que temperaturas mayores a 25°C en el día y 20°C en la noche detiene o revierte el proceso floral (Salazar, 2002).

VII. Conclusiones

La temperatura máxima incrementa a partir de noviembre hasta mayo, pero disminuyen cuando comienza la temporada de lluvias y sigue disminuyendo en los meses siguientes. Los días más calurosos (temperatura máxima) se registran entre enero y abril, con temperaturas que van desde 19.7°C hasta los 30.5°C. Las temperaturas máximas absolutas con mayor frecuencia se encuentran entre los 23°C hasta los 24 °C, mientras que las temperaturas superiores a 25°C a 30.4°C son poco comunes y se consideran muy altas para la región, ya que ocurren en menos del 10% de los datos.

La dinámica de la temperatura mínima sigue un patrón opuesto a la temperatura máxima. Es decir, las noches y madrugadas más frías ocurren entre noviembre y marzo. Mientras que muestra un patrón de incremento a partir de abril y alcanzan sus niveles más altos entre mayo y septiembre. Durante el período 1993-2020, la temperatura mínima promedio para la región fue de 4.93°C. Las temperaturas (mínimas) con mayor frecuencia se registraron entre 3.07°C y 6.79°C.

Durante el periodo 1994-2023, la temperatura media para el territorio norte del departamento de Sololá mostró un incremento, que se vuelve más significativo a partir de 2009. Dicha tendencia coincide con los modelos predictivos de temperatura para el departamento de Sololá, que muestran una proyección al incremento.

Para la zona norte del departamento de Sololá, el acumulado de lluvia presenta una variabilidad anual entre el rango de 975 y 1,837 mm. Se observó un incremento de las lluvias cuando ocurre el fenómeno de la Niña (fase fría del ENOS),

provocando que para algunos años los acumulados de lluvia superaron el promedio (1993-2023). Por el contrario, cuando se presenta la fase de El Niño (fase cálida), las lluvias disminuyen y los acumulados anuales son menores al promedio, sin embargo, depende mucho de la intensidad del ENOS.

Mayo, julio, agosto y octubre fueron los meses que registraron más ocasiones de menor acumulado de lluvia mensual. El papel de la lluvia es clave durante estos meses por el ciclo agrícola de secano (dependiente de las lluvias) y una reducción en el acumulado puede provocar pérdidas por estrés hídrico.

Los vientos con mayor frecuencia en el municipio de Sololá alcanzan velocidades entre 0 y 9.7 kilómetros/hora, y las velocidades máximas del viento que se ha registrado (2021-2024) alcanzan los 75.6 km/h.

En cuanto a cambios en el clima, resalta el incremento de temperatura promedio anual a partir del año 2009 (0.057°C/año), concordando con la percepción comunitaria, manifestada como la existencia de más calor (sensación térmica) en la actualidad.

La agricultura del caserío Xolbé es muy vulnerable ante los fuertes vientos y lluvias, que generan impactos en el rendimiento de los principales cultivos.

La producción pecuaria de aves de corral es afectada por enfermedades influenciadas por diferentes fenómenos meteorológicos.

VIII. Referencias

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2023). Manual de uso de términos meteorológicos. https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Manual_de_uso_de_terminos_met_2023/Manual_de_uso_de_terminos_met_2023.pdf

Bardales Espinoza, W. A., Castañón, C., & Herrera Herrera, J. L. (2019). Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 20–39). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN) (2017). El Niño 2015-16: evolución, vulnerabilidad e impactos en Latinoamérica, p 1-38

Centro Regional del Clima para el Oeste de Sudamérica (CRC-OC-CIIFEN) (2025). Monitor Regional de Sequías. <https://crc-osa.ciifen.org/monitor-sequias-osa/>

CONRED. 2001. Un Mapa de Riesgo de Guatemala para la Sequía del 2,001. <https://www.unisdr.org/2003/campaign/english/Others/Guatemala.doc>

Del Valle, J. (1991). Propuesta de un índice climático para evaluar la continentalidad termopluviométrica. Lucas Mallada. 3. 129-135. <https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Propuesta-índice-climático.pdf>

Department for International Development (DFID) (2001). Sustainable livelihoods

guidance sheets. <https://www.livelihoodscentre.org/documents/114097690/114438878/Sustainable+livelihoods+guidance+sheets.pdf/594e5ea6-99a9-2a4e-f288cbb4ae4bea8b?t=1569512091877>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2022. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0639es>

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2016). Mapa de división política administrativa de la República de Guatemala [mapa digital]. Guatemala.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). (2002). Evapotranspiración promedio anual. Atlas climatológico. República de Guatemala. https://insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/etp.jpg

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). (2018). Curvas de intensidad, duración y frecuencia (idf) para la república de Guatemala.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Informe de síntesis. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). Annex VII: Glossary. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.022>

Lavado, W. & Espinoza, J. (2014). Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Rev. bras. meteorol.* 29 (2) • Jun 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2006). Modelo de elevación digital de la República de Guatemala. Píxel 15×15 m [mapa digital]. Guatemala.

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) (2013). Estudio Semidetallado de los Suelos del Departamento de Sololá, Guatemala. <https://www.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/suelos/solola1.pdf>

National Aeronautics and Space Administration (NASA) CATHALAC. (2010). Capa de Amenaza deslizamientos metodología Mora-Vahrson. <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoserver/wms?service=wms>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2024) Historical El Niño /La Niña episodes (1950-present). https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Ponvert-Delisle Batista, Dámaso R. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 22-41. <https://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>
RELIEF. 2014. Guatemala: Reporte de Situación No. 1 Sequía (al 28/08/2014). <https://reliefweb.int/report/guatemala/guatemala-reporte-de-situacion-no-1-sequia-al-28-08-2014>

Rivera, P. F., Bardales Espinoza, W. A., & Ochoa, W. (2019). Escenarios futuros de cambio climático para Guatemala. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J.

Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 40–61). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Salazar-Garcia, Samuel; Lovatt, C. J. (2002). Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Inflorescence and flower development. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(1): 71-75, 2002. https://www.researchgate.net/publication/262262780_Flowering_of_avocado_Persea_americana_Mill_I_Inflorescence_and_flower_development

Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia en Guatemala (SEGEPLAN) (2022). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial Sololá. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/09/0701_PDM_OT_SOLOLA.pdf

Stats Kingdom (31/05/2024). Prueba Shapiro-Wilk. <https://www.statskingdom.com/shapiro-wilk-test-calculator.html>

Valiente, Ó.M. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas (España)*, (26), 59-80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=111741>



Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

www.icc.org.gt

Contacto: pyax@icc.org.gt

Teléfono: +502 7828 - 1048